

DEVELOPMENT OF NEW MULTI-DISCIPLINARY TECHNIQUES FOR MINERAL EXPLORATION IN SEVERAL AREAS OF THE WESTERN IBERIAN PENINSULA

VOL. II

EEC Contract MA1M-0032-C (A)

INFORME FINAL

Areas de Mina Fe y Morille-Martinamor (Salamanca-España)

Area de Nisa-Azere (Portugal)



Instituto Tecnológico GeoMinero de España

ENUSA (España)

ENU (Portugal)

Universidad de Southampton (Reino Unido)

Universidad de Salamanca (España)

Junio,

25060

Autores: Esta memoria ha sido realizada por los siguientes autores:

AREA DE MINA FE - CIUDAD RODRIGO

- CAPITULO - 1 - GEOLOGIA DEL AREA DE CIUDAD RODRIGO.
J. Arnaiz de Guezala (1).
- CAPITULO - 2 - LANDSAT LINEAMENTS AND STRUCTURAL CONTROL OF MINERALIZATION IN THE MINA FE AREA, CIUDAD RODRIGO, SPAIN.
D.J. Sanderson (5).
- CAPITULO - 3 - ESPECTROMETRIA GAMMA Y MAGNETOMETRIA AEROPORTADAS: CAMPAÑA REGIONAL.
J. Arnaiz de Guezala (1).
- CAPITULO - 4 - CONSIDERACIONES SOBRE LA CINEMATICA DE LAS PRINCIPALES FRACTURAS DE LA MINA FE (CIUDAD RODRIGO).
P. Gumiel (2).
- CAPITULO - 5 - ANALISIS MULTIESPECTRAL Y CLASIFICACION DIGITAL DE IMAGENES LANDSAT THEMATIC MAPPER EN EL AREA DE MINA FE (CIUDAD RODRIGO).
C. Antón-Pacheco; J.C. Gumiel; P. Gumiel. (2)
- CAPITULO - 6 - GRAVIMETRIA EN MINA FE, CIUDAD RODRIGO (SALAMANCA).
R. Campos. (2)
- * ANEXO A LOS CAPITULOS 4, 5 Y 6. - INTEGRACION DE DATOS: INTERPRETACION.
C. Antón-Pacheco; P. Gumiel; R. Campos. (2)
- CAPITULO - 7 - GEOFISICA HELIPORTADA MULTIMETODO.
J. Arnaiz de Guezala. (1)
- CAPITULO - 8 - LITOGEOQUIMICA AREA MINA FE.
**J. Arnaiz de Guezala (1); A. Arribas. (4);
J. Cerdá Miralles (1); A. Martín Izard (4).**
- CAPITULO - 9 - THE ORIGIN OF THE FE MINE URANIUM DEPOSIT: ISOTOPE STUDIES.
R.A. Both (6); A. Arribas.(4)

25060

AREAS DE AZERE Y NISA (PORTUGAL)

CAPITULO - 10 - URANIO EN LAS AREAS DE AZERE Y NISA (PORTUGAL)
**J.M. Matos Dias; J.A. Correia Marques;
M.J. Botelho Ponte & A. Borges Campos (3).**

CAPITULO - 11 - LANDSAT LINEAMENTS AND STRUCTURAL CONTROL OF
MINERALISATION IN THE NISA AREA
D.J. Sanderson. (5).

AREA DE MORILLE - MARTINAMOR (SALAMANCA)

CAPITULO - 12 - LOS YACIMIENTOS DE TUNGSTENO DE LA ZONA DE
MORILLE, PROVINCIA DE SALAMANCA.
A. Arribas. (4)

CAPITULO - 13 - GRAVIMETRIA EN MORILLE - MARTINAMOR.
I. Arbe; J.L. Plata. (2)

- (1) ENUSA (España.)
- (2) ITGE (España.)
- (3) ENU (Portugal.)
- (4) Univ. Salamanca (España.)
- (5) Univ. Southampton (U.K.)
- (6) Univ. Adelaida (Australia.).

INDICE

INTODUCCION

AREA DE MINA FE, CIUDAD RODRIGO, SALAMANCA.

CAPITULO - 1

1 - GEOLOGIA DEL AREA DE CIUDAD RODRIGO	3
1.1 - Introducción	3
1.2 - Estratigrafía	3
1.2.1 - C.E.G.	3
1.2.2 - Ordovícico	7
1.2.3 - Terciario Continental	8
1.2.4 - Materiales Pliocuaternarios	8
1.2.5 - Materiales Cuaternarios	8
1.3 - Tectónica	8
1.3.1 - Plegamiento	8
1.3.2 - Fracturación	9
1.4 - Plutonismo	11
1.5 - Metamorfismo	12
1.6 - Mineralizaciones	13
1.6.1 - General	13
1.6.2 - Provincia de Salamanca	15
REFERENCIAS	22

CAPITULO - 2

2 - LANDSAT LINEAMENTS AND STRUCTURAL CONTROL OF MINERALIZATION IN THE MINA FE AREA, CIUDAD RODRIGO, SPAIN	24
2.1 - Introduction	24
2.2 - Production of lineament maps from Landsat TM imagery	25
2.2.1 - Imagery	25
2.2.2 - Image processing	25
2.2.3 - Lineament interpretation	25
2.3 - Structurally controlled processing of lineaments in the Mina Fe area	26
2.4 - Spatial analysis of TM lineaments	27
2.4.1 - Density	27
2.4.2 - Directional density and dominance	27
2.5 - Lineament analysis from air photography	33
2.6 - Fault analysis in the Fe Mine	42
2.7 - Use of lineament maps as an aid to mineral exploration	44
2.7.1 - Uranium mineralization	44
2.8 - Conclusions	45
REFERENCES	46

**DEVELOPMENT OF NEW MULTI-DISCIPLINARY TECHNIQUES FOR MINERAL
EXPLORATION IN SEVERAL AREAS OF THE WESTERN IBERIAN PENINSULA.**

(Contract MA1M - 0032 - C)

(VOL.2)

**URANIO: MINA FE (CIUDAD RODRIGO - SALAMANCA)
REGIONES DE NISA Y AZERE (PORTUGAL)**

WOLFRAMIO: MORILLE - MARTINAMOR (SALAMANCA)

Editado por:

**P. Gumiel (1); J. Arnaiz de Guezala (2);
J.M. Matos Dias (3) y A. Arribas (4).**

- 1 - ITGE (España).**
- 2 - ENUSA (España).**
- 3 - ENU (Portugal).**
- 4 - Univ. Salamanca (España).**

Junio - 1990.

CAPITULO - 3

**3 - ESTECTROMETRIA GAMMA Y MAGNETOMETRIA AEROPORTADAS;
CAMPAÑA REGIONAL** 47

3.1 - Introducción 47

3.2 - Características del vuelo 47

3.3 - Interpretación 48

 3.3.1 - Espectrometría gamma 48

 3.3.2 - Magnetometría 52

3.4 - Conclusiones..... 56

REFERENCIAS 56

CAPITULO - 4

**4 - CONSIDERACIONES SOBRE LA CINEMATICA DE LAS
PRINCIPALES FRACTURAS DE LA MINA FE** 57

CAPITULO - 5

**5 - ANALISIS MULTIESPECTRAL Y CLASIFICACION DIGITAL DE
IMAGENES LANDSAT THEMATIC MAPPER EN EL AREA DE MINA FE** 68

5.1 - Introducción 68

5.2 - Marco geológico 69

5.3 - Análisis de imagenes Landsat TM 71

5.4 - Clasificación digital 76

5.5 - Interpretación y conclusiones 78

CAPITULO - 6

6 - GRAVIMETRIA EN MINA FE 84

6.1 - Introducción 84

6.2 - Localización 85

6.3 - Gravimetría 86

 6.3.1 - Obtención de la anomalía de Bouguer..... 86

 6.3.2 - Control de las mediciones y cálculos 93

 6.3.3 - Cálculo de la anomalía de Bouguer 94

6.4 - Interpretación y conclusiones 94

ANEXO A LOS CAPITULOS 4, 5 Y 6.

INTEGRACION DE DATOS: INTERPRETACION 100

REFERENCIAS 103

CAPITULO - 7

7 - GEOFISICA HELIPORTADA MULTIMETODO	104
7.1 - Características de la campaña	104
7.2 - Interpretación	104
7.2.1 - Litología; estructura	104
7.2.2 - Interpretación tectónica; fracturación	107
7.2.3 - Falsas anomalías	110
7.2.4 - Conclusiones	113
7.3 - Comparación con métodos geofísicos de tierra	114
REFERENCIAS	114

CAPITULO - 8

8 - LITOGEOQUIMICA AREA MINA FE	116
8.1 - Introducción	116
8.2 - Métodos analíticos	116
8.3 - Resultados del estudio geoquímico	117
8.3.1 - Muestras de superficie	117
8.3.2 - Muestras de sondeos	118
8.3.3 - Sondeos del entorno de Mina Fe	119
8.3.4 - Perfiles	120
8.3.5 - Otros elementos	121
CONCLUSIONES GENERALES	121

CAPITULO - 9

9 - THE ORIGIN OF THE FE MINE URANIUM DEPOSIT: STABLE ISOTOPE STUDIES	138
9.1 - Introduction	138
9.2 - Mineralization	138
9.2.1 - Fe Mine	138
9.2.2 - Mineralogy	141
9.2.3 - Fluid inclusion data	145
9.3 - Chlorite geochemistry	150
9.4 - Stable isotopes	150
9.4.1 - Oxygen isotopes	152
9.4.2 - Carbon isotopes	153
9.4.3 - Sulfur isotopes	154
9.5 - Summary and conclusions	154
REFERENCES	157

AREAS DE AZERE Y NISA

CAPITULO - 10

10.1 - CARACTERIZAÇÃO GEOLOGICO-ESTRUTURAL DAS REGIOES DE AZERE E NISA	162
10.1.1 - Regiao de Azere	162
10.1.1.1 - Localizaçao e enquadramento geológico	162
10.1.1.2 - Caracterizaçao sumária das formaçoes	162
10.1.1.2.1 - Complexo Xisto-Grauváquico (C.X.G) ante-Ordovícico	162
10.1.1.2.2 - Quartzitos do Ordovícico	164
10.1.1.2.3 - Granito hercínico	164
10.1.1.2.4 - Depósitos de cobertura continentais	165
10.1.1.3 - Síntese estrutural	165
10.1.2 - Regiao de Nisa	170
10.1.2.1 - Localizaçao e enquadramento geológico	170
10.1.2.1.1 - Complexo Xisto-Grauváquico (C.X.G) ante-Ordovícico	171
10.1.2.1.2 - Granito Hercínico	173
10.1.2.1.3 - Depósitos de cobertura	174
10.1.2.2 - Síntese estrutural	174
10.2 - MINERALIZAÇÕES URANIFERAS	176
10.2.1 - Tipologia dos jazigos portugueses	176
10.2.2 - Suporte geológico das mineralizaçoes	177
10.2.3 - Depósitos do tipo ibérico	177
10.3 - METODOLOGIAS E TÉCNICAS DE PROSPECÇÃO	178
10.3.1 - Prospecção aérea	178
10.3.1.1 - Radiométrica	178
10.3.1.2 - Magnetométrica	179
10.3.2 - Prospecção apeada	179
10.3.2.1 - Radiométrica	179
10.3.2.2 - Emanométrica	179
10.3.2.3 - Geoquímica de rochas	186
10.3.2.3.1 - Perfis geoquímicos	186
10.3.2.3.2 - Geoquímica das zonas mineralizadas	186
10.4 - RESULTADOS OBTENIDOS	186
10.4.1 Prospecção radiométrica	187
10.4.2 Emanometría	187
10.4.3 Prospecção aeromagnética	188
10.4.4 Prospecção geoquímica	188
10.5 - CONCLUSIONES	189
REFERENCIAS	191

CAPITULO - 11

11 -LANDSAT LINEAMENTS AND STRUCTURAL CONTROL OF THE MINERALIZATION IN THE NISA AREA	199
11.1 - Introduction.....	199
11.2 - Production of lineament maps from Landsat TM Imagery	200
11.2.1 - Imagery	200
11.2.2 - Image processing	200
11.2.3 - Lineament interpretation	200

11.3 - Structurally controlled processing of lineaments in the Nisa area	201
11.4 - Relationship between lineaments and fractures	203
11.4.1 - Regional fracture Survey	203
11.4.2 - Lineaments from air photography and ground mapping...	206
11.5 - Spatial Analysis of lineaments	210
11.5.1 - Density	210
11.5.2 - Directional density and dominance	210
11.6 - Use of lineament maps as an aid to mineral exploration	212
11.6.1 - Uranium mineralization within the granite	216
11.6.2 - Potential of gold mineralization	216
11.7 - Conclusions	217
REFERENCES	217

ANEXO - CONCLUSIONES GENERALES A LAS AREAS URANIFERAS DE CIUDAD RODRIGO (ESPAÑA), Y AZERE Y NISA (PORTUGAL).....	218
---	------------

AREA DE MORILLE - MARTINAMOR

CAPITULO - 12

12 - LOS YACIMIENTOS DE TUNGSTENO DE LA ZONA DE MORILLE, PROVINCIA DE SALAMANCA.	220
12.1 - Estratigrafía	220
12.1.1 - Paleozoico	220
12.1.2 - Terciario	221
12.2 - Rocas metamórficas	221
12.2.1 - Cuarzitas	221
12.2.2 - Esquistos	221
12.2.3 - Gneises	221
12.2.4 - Porfiróides	222
12.2.5 - Rocas calcosilicatadas	222
12.3 - Rocas igneas	222
12.3.1 - Ortogneis de San Pelayo	223
12.3.2 - Granitos de Martinamor	223
12.3.3 - Granito de Santa Genoveva	223
12.4 - Tectónica y metamorfismo	224
12.4.1 - Primera fase tectónica	224
12.4.2 - Segunda fase de deformación	224
12.4.3 - Tercera fase	226
12.4.4 - Fases tardías	226
12.5 - Los yacimientos de scheelita	226
12.5.1 - Yacimientos estratiformes	228
12.5.2 - Yacimientos filonianos	230
12.6 - Origen de la mineralización	232
REFERENCIAS	236

CAPITULO - 13

13 - GRAVIMETRIA EN LA ZONA DE MORILLE-MARTINAMOR	238
13.1 - Introducción y localización	238
13.2 - Gravimetría	238
13.2.1 - Mediciones en campo	238
13.2.3 - Cálculo de la anomalía de Bouguer	241

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

INTRODUCCION

Este informe presenta los resultados del Proyecto de investigación, multinacional y pluridisciplinar, MALM-0032-C, patrocinado por la Comisión de la CEE y llevado a cabo entre las Universidades de Southampton (Reino Unido), Salamanca (España), las Empresas ENUSA (España), ENU (Portugal) y el ITGE, quién ostenta la responsabilidad y coordinación general de todos los trabajos, proporcionando el soporte e infraestructura necesaria y siendo el punto de conexión entre todos los participantes.

Ha sido un Proyecto ambicioso ya que han intervenido expertos de diferente nacionalidad y en el que se han empleado, junto con los métodos tradicionales de exploración, nuevas tecnologías, que tratadas de forma integrada, han cubierto el objetivo principal del Proyecto que era establecer criterios útiles a la búsqueda y exploración de sustancias variadas como; oro, antimonio, wolframio, litio y uranio, dentro del ámbito del Macizo Hespérico de la Península Ibérica.

No obstante, el aspecto quizás más importante de este Proyecto es haber conseguido trabajar en cooperación y cuyos resultados se han plasmado en estos dos volúmenes que constituyen el cuerpo de este informe final.

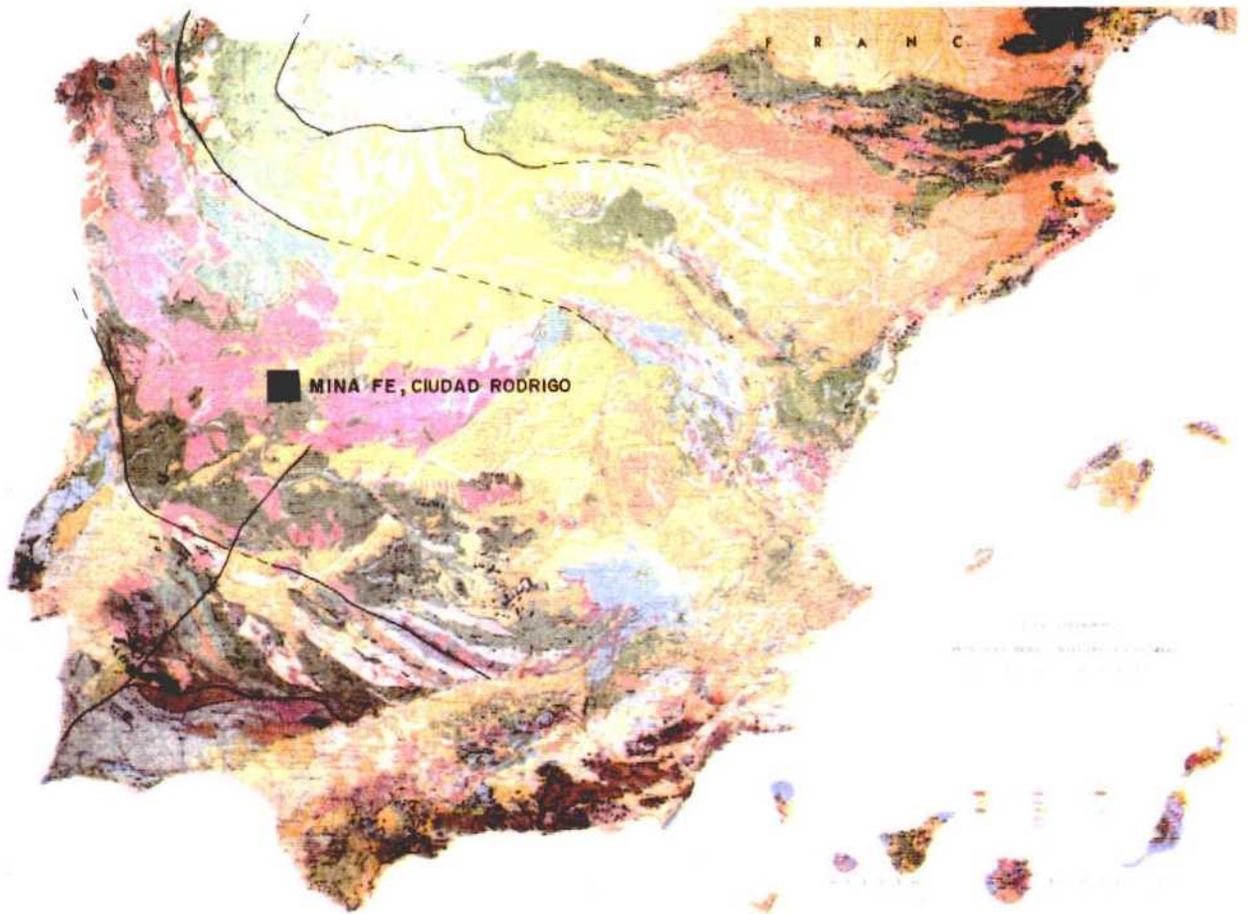
Mientras que el volumen 1 se centra en el tema específico del oro en un área de potencial interés (La Codosera) dentro de la Comunidad de Extremadura, este segundo volumen comprende el resto de las áreas investigadas en España (Salamanca) y en Portugal (Nisa y Azere). En él se presentan los trabajos realizados en el Proyecto, los cuales se han agrupado por sustancias; uranio y wolframio, y consiguientemente por zonas.

El papel que ha desempeñado ENUSA en el área de Ciudad Rodrigo, así como el de ENU en Portugal, ha sido primordial. Además del conocimiento técnico de las respectivas áreas y de los trabajos realizados para este proyecto, han proporcionado soporte e infraestructura, dando facilidades desde los trabajos de campo, hasta la redacción del informe final. Los técnicos de las Universidades de Salamanca, Southampton, y del ITGE han contribuido, en sus respectivos campos de especialización, a un mejor conocimiento de aquellos aspectos que puedan tener interés en las áreas de mayor potencial uranífero de la Península Ibérica.

Estos trabajos, ordenadamente presentados en 13 capítulos, constituyen el segundo volumen y comprenden desde, geología básica de las respectivas áreas, estudios estructurales a diferentes escalas, métodos indirectos de exploración geofísica -heliportada y sobre terreno- gravimetría, análisis multiespectral de imágenes Landsat TM, litogeoquímica, etc., y finalmente datos isotópicos que mejoran el conocimiento metalogénico, concretamente de la mina Fe (Ciudad Rodrigo) que representa uno de los mayores potenciales uraníferos de la Comunidad Económica Europea.

URANIO

AREA DE MINA FE, CIUDAD RODRIGO (SALAMANCA - ESPANA)



1. GEOLOGIA DEL AREA DE CIUDAD RODRIGO (Javier Arnaiz de Guezala, ENUSA)

1.1. Introducción

El área de trabajo está situada en la parte central de la zona Centroibérica (Macizo Hespérico) según la división de Lotze.

Se reconocen metasedimentos del Complejo Esquisto Grauváquico (C.E.G.) de edad anteordovicica, cuarcitas y filitas Ordovicico-Silúricas (fig. 1.1 y 1.2), rocas graníticas y sedimentos terciarios y cuaternarios.

1.2. Estratigrafía

1.2.1. C.E.G.

Los metasedimentos del C.E.G., son (4), (16), de carácter siliciclástico, se depositaron sobre el borde de una plataforma continental, o mar epicontinental, y están constituidos por alternancias de niveles de filitas sericíticas y cuarzosericíticas con filitas ampelíticas y cuarcitas así como eventuales niveles calcosilicatados, anfibolitas, cuarcitas anfibólicas y conglomerados arcósicos.

De todas estas litologías las más abundantes son las de naturaleza pelítica y pelítico-arenosa, entre las que se intercalan capas mucho menos potentes del resto de los materiales.

El C.E.G. de la zona es posiblemente de edad Vendiese a Cámbrico inferior, y en todo caso anterior a las calizas de Tamames (Cámbrico inferior).

Se pueden distinguir 5 tramos (fig. 1.3.) que comenzando por los términos más antiguos son:

Primer tramo : Aflorante en los núcleos de antiformas, muy plegado y potencia superior a 300 m. De carácter ampelítico está constituido por alternancia de filitas, filitas ampelíticas, y cuarzo feldespáticas y cuarcitas. Son abundantes las estructuras sedimentarias; laminaciones paralelas y oblicuas, estructuras de carga y riples.

Segundo tramo: Complejo, de carácter mixto carbonatado-detrítico. Presenta una parte inferior de cuarcitas con niveles anfibólicos y alternancia de cuarcitas y carbonatos ambos impuros. Estos últimos niveles suelen ser lenticulares y presentar estructuras sedimentarias gravitacionales. A techo termina el tramo con alternancias de filitas y cuarcitas a veces sericíticas con laminaciones sedimentarias. La potencia varia de 50 a 200 metros.

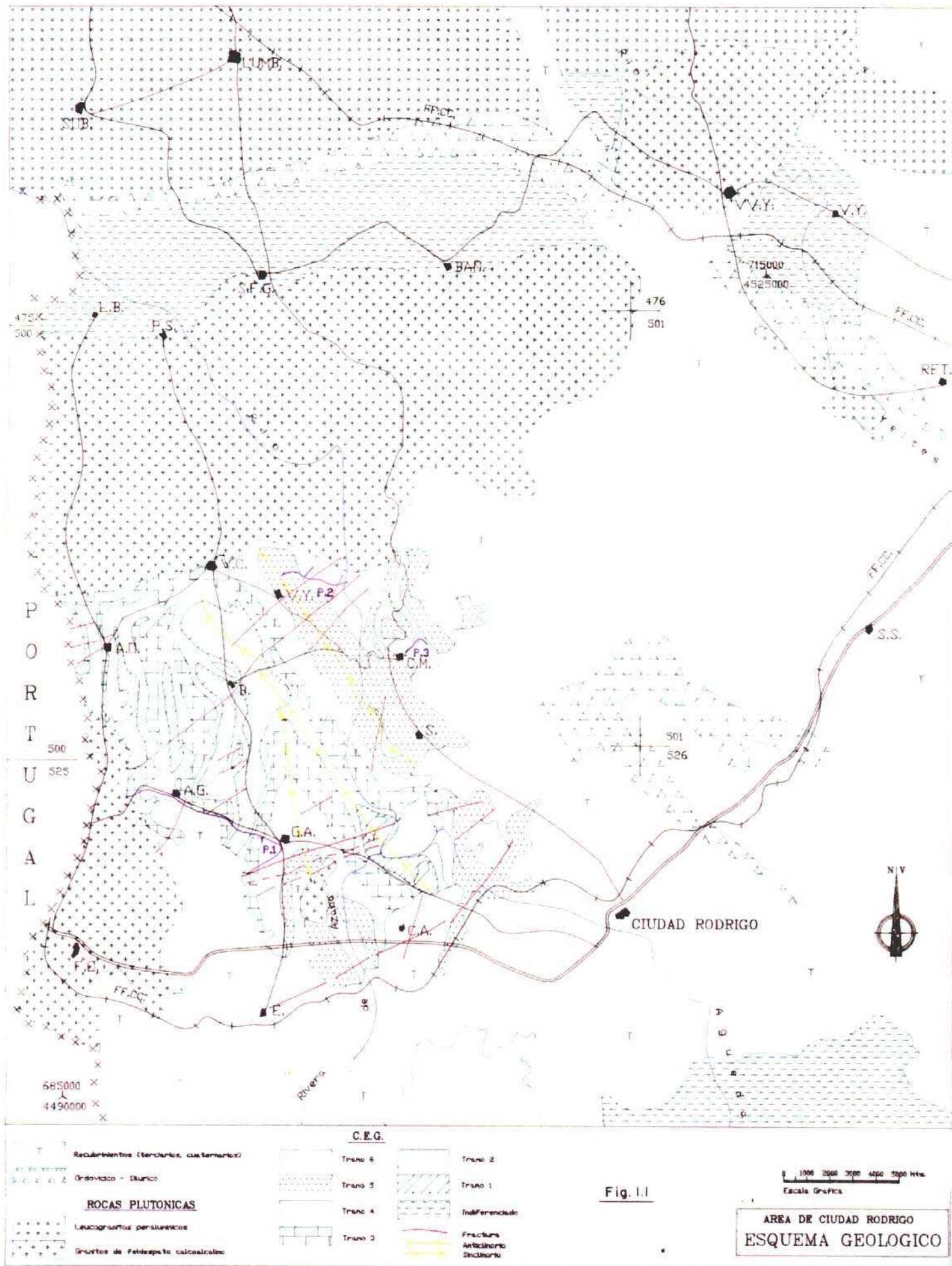


FIGURA 1.1- ESQUEMA GEOLOGICO DEL AREA DE CIUDAD RODRIGO.

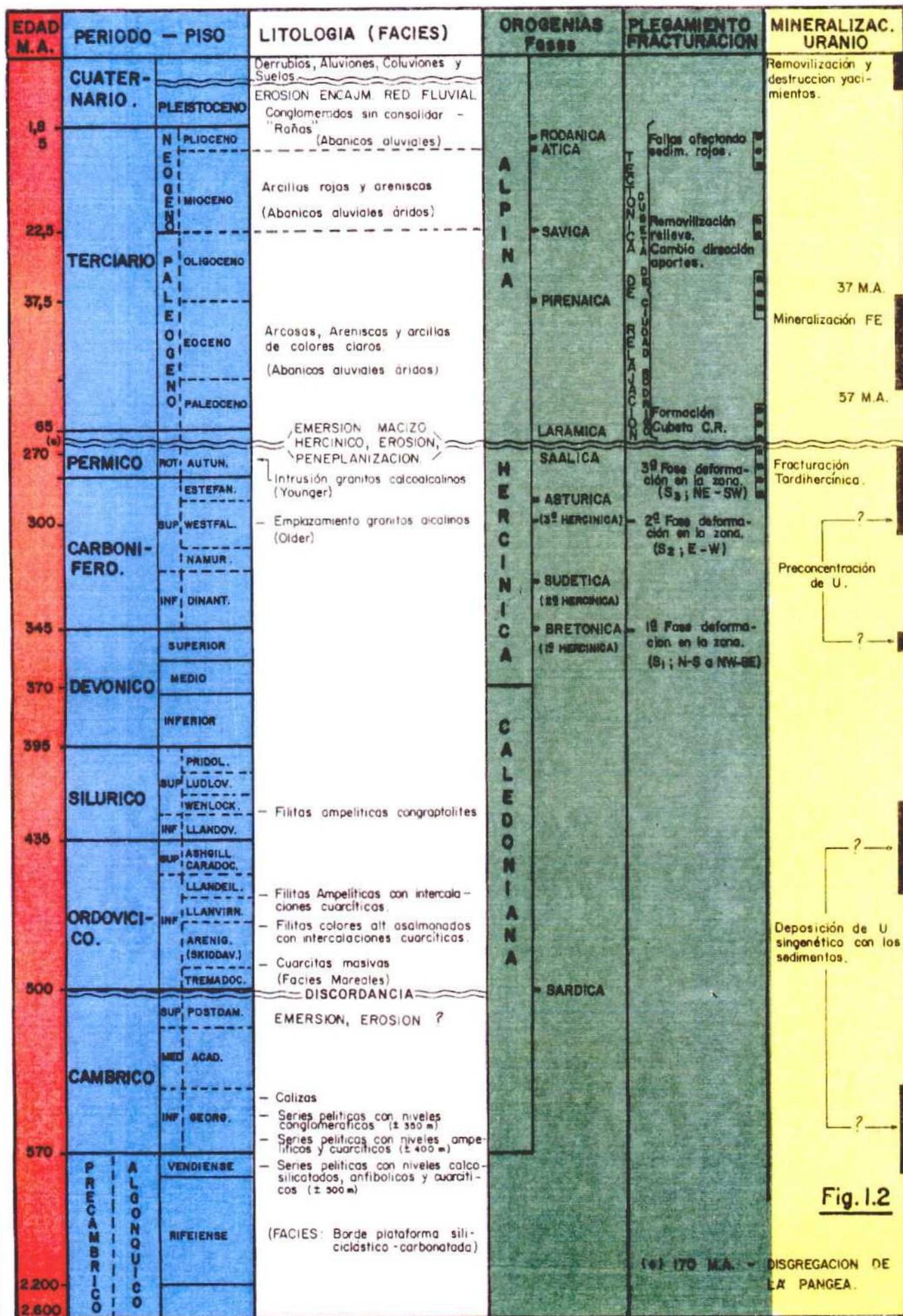


Fig. 1.2

FIGURA 1.2- ESTRATIGRAFIA Y SITUACION DE LAS MINERALIZACIONES DE URANIO EN CIUDAD RODRIGO.

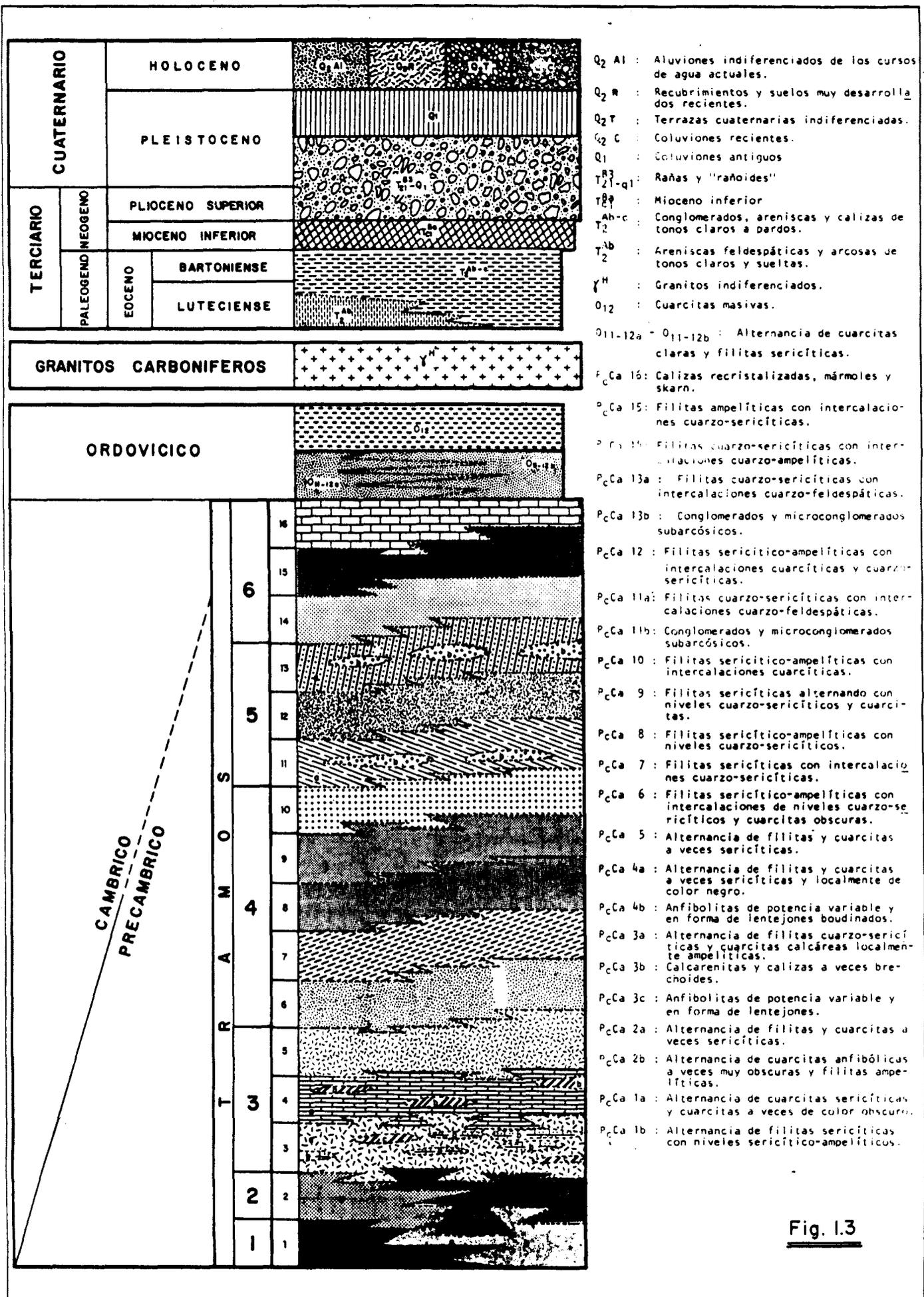


Fig. 1.3

FIGURA 1.3- ESTRATIGRAFIA DE DETALLE DEL CEG DEL AREA DE CIUDAD RODRIGO.

Tercer tramo : Monótono, compuesto por alternancias de filitas cuarzo-sericíticas y filitas cuarzo-feldespáticas. Abundan los términos pelíticos a veces bandeados con materia carbonosa y pirita. Los niveles más arenosos presentan a techo laminaciones sedimentarias paralelas u oblicuas. Se observan secuencias características de depósitos turbidíticos. La potencia total es de unos 320 metros.

Cuarto tramo : Constituido por alternancia de términos conglomeráticos, microconglomeráticos, cuarcíticos y pelíticos en paquetes métricos. Los materiales más gruesos se presentan con base erosiva, con cantos blandos, estructuras de carga, sedimentación gradada y ripples. Los conglomerados, heterogranulares pasan lateralmente a areniscas feldespáticas, los cantos pueden estar deformados por efecto de la tectónica. La potencia es entre 100 y 120 metros.

Quinto tramo : Formado por alternancia de términos pelíticos, pelítico-arenoso y arenoso-pelíticos. En la parte inferior del tramo predominan las pelitas que hacia arriba se sustituyen con alternancias arenoso-pelíticas. A techo vuelven a predominar los términos pelíticos.

Los términos pelíticos presentan ocasionalmente laminación paralela, mientras los arenosos tienen abundancia de estructuras sedimentarias. El conjunto tiene una potencia de unos 210 metros.

Sedimentológicamente estos materiales presentan gran abundancia de rocas pelíticas depositadas en ambiente reductor que indican un medio de deposición bastante tranquilo (tramos 1º, 3º y 5º), con aportes esporádicos de mayor energía (tramo 4º). El tramo segundo, carbonatado con estructuras producidas por gravedad, presenta características distintas. Localmente se reconocen en los tramos pelíticos secuencias de Bouma características de deposición por corrientes de turbidez.

1.2.2. Ordovícico: Forma parte del sinclinal de la Sierra de Camaces. Están presentes dos de las cuatro unidades (10) del sinclinal de Tamames.

Unidad I : Compuesta por cuarcitas, filitas sericíticas, limolitas y conglomerados, la potencia oscila entre 350 y 380 m.

Unidad II: Compuesta por paquetes de cuarcitas masivas, hacia techo aparecen filitas color salmón. Potencia 50 metros.

La edad atribuida a estas cuarcitas es Tremadoc-Arenig.

1.2.3. Terciario Continental

Los sedimentos terciarios de la cubeta de Ciudad Rodrigo se dan como paleógenos por correlación con otras zonas.

Se distinguen las siguientes facies en general de techo a muro, aunque en ocasiones puede pasarse de unas a otras por cambio lateral.

Abanicos mixtos: Similares a los graníticos con la única diferencia de aparecer cantos de pizarra, mayores y más abundantes cuanto más cerca del borde sur de la fosa.

Se producirían por desplazamiento de un debris flow granítico sobre terrenos pizarrosos y dirección de aporte al sur.

Abanicos graníticos: Se trata de arcosas de tamaño de grano no superior a arena gruesa con hasta 50 % de matriz. De composición mineralógica igual a un lem granítico, se pueden clasificar como debris flow dentro de un sistema de abanicos aluviales áridos con área de aporte granítica, en general al oeste, noroeste y sur en el extremo suroeste de la cubeta.

Abanicos de Ciudad Rodrigo: Son abanicos mixtos más distales al aparecer algún canal de arena depositado con más agua. Presentan abundancia de arcillas, lo que podría indicar un área de aporte más pizarrosa, y situada al sur.

Presentan una mayor resistencia a la erosión por estar más compactadas y algo cementadas.

1.2.4. Materiales Pliocuaternarios

Rañas y rañoides, materiales conglomeráticos de procedencia cuarcítica, cantos hasta 20 cm y matriz limo-samítica de color rojizo.

1.2.5. Materiales cuaternarios

Aluviones de cursos de agua actuales de composición samítico-pelítica y gravas.

Terrazas cuaternarias y coluviones recientes, similares a los anteriores.

1.3. Tectónica

1.3.1. Plegamiento

Los materiales del C.E.G. y las cuarcitas ordovícicas, están afectadas por las deformaciones de la Orogenia Hercínica y, posiblemente las del C.E.G. por una fase preordovícica. En la zona se ponen de manifiesto tres fases hercínicas y otras posibles estructuras posteriores.

Fase preordovícica: En la zona, se citan (13), (19), (11) pliegues prehercínicos sin esquistosidad atribuibles a la fase sárdica, Caledoniana.

Estos pliegues no son fácilmente visibles por el efecto de las fases posteriores hercínicas. Esta fase sárdica también se puede inferir por la discordancia cartográfica y no paralelismo de ejes de pliegues entre el Complejo y las cuarcitas ordovícicas y posición diferente de las L_1 en unos y otros materiales (16).

Primera fase de deformación en la zona (F_1 hercínica)

Durante la orogenia hercínica la zona es afectada por varias fases de deformación. La primera fase produce un intenso plegamiento que da lugar a grandes estructuras (kilométricas) de plano axial variable de N-S a N130E con buzamientos al oeste y una esquistosidad de flujo asociada (S_1). Las estructuras originadas vergen al NE y su eje presenta un "plunge" hacia el N (en MINA FE), variable sin embargo, debido al efecto de las fases posteriores.

Segunda fase de deformación (F_3 hercínica)

De intensidad muy variable en la zona, se reconoce por sus efectos en la geometría de pliegues de primera fase, cabeceo de ejes, y crenulación e incluso transposición de la esquistosidad de primera fase. La dirección de los ejes de los pliegues varía de ENE a E.W. e incluso ESE, los pliegues vergen en general al N.

La segunda fase en la zona, da lugar a pliegues decamétricos a hectométricos con planos axiales de orientación media 80° y buzamientos de 70° (en MINA FE) y una esquistosidad de crenulación asociada (S_2).

Tercera fase de deformación

De intensidad variable, da lugar a grandes estructuras muy suaves y de gran longitud de onda, con a veces una esquistosidad grosera. Es responsable del giro de S_0 y S_1 que en el área de MINA FE pasan de NW-SE a E-W y N-S.

La dirección de los ejes de pliegues de esta fase es NNE.

Diversos autores mencionan fases posteriores relacionadas con la presencia de pliegues chevron y "kink bands".

1.3.2. Fracturación

Del estudio de la fracturación llevado a cabo en Mina FE (fig. 1.4.) (18), (12) se deducen las principales direcciones de fractura como N, NNE, siguiendo en frecuencia las, NE, ENE, E y SE. El buzamiento varía siendo los más frecuentes de 45° a 90° . En Mina FE la fracturación está claramente condicionada por los pliegues de F_1 y F_2 .

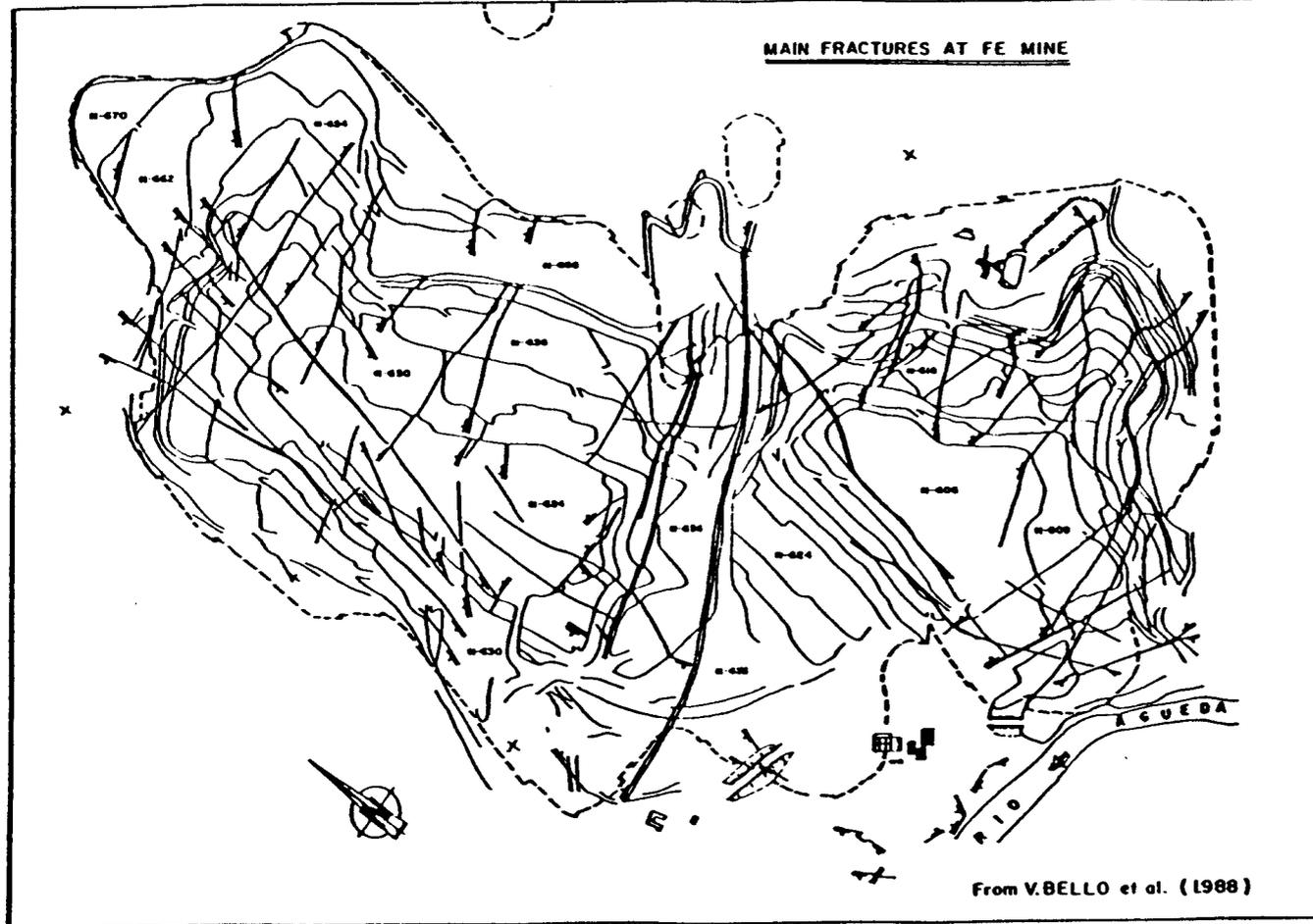
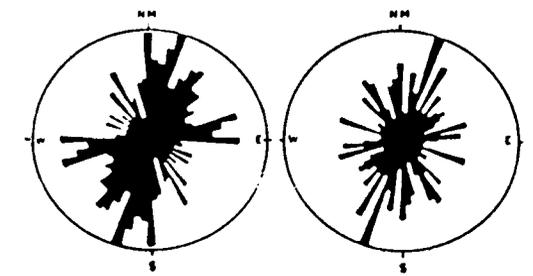


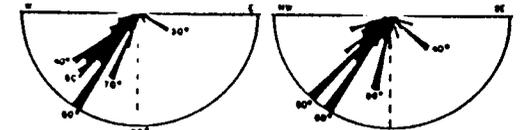
FIGURA 1.4- PRINCIPALES FRACTURAS EN EL AREA DE MINA FE.

FRACTURE DISTRIBUTION AT FE MINE



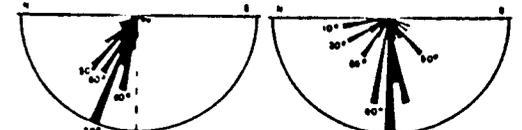
ROSE DIAGRAM OF FAULT STRIKE (658)
RADIUS = 33 FAULTS

ROSE DIAGRAM OF FAULT STRIKE (228)
WITH RADIIOMETRY > 800 G/A (GMT-ST)
RADIUS = 16 FAULTS



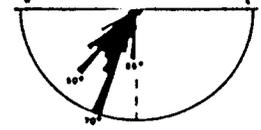
S = 0° - 20°
R = 21 Faults

S = 30° - 50°
R = 14 Faults



S = 75° - 90°
R = 17 Faults

S = 110° - 120°
R = 3 Faults



S = 140° - 175°
R = 17 Faults

ROSE DIAGRAM OF FAULT DIP (688)
FAULT STRIKE (S) 0° - 180°
R = RADIUS

From: F. COMA (1983)

FIG. 1.4

De importancia regional son las zonas de fractura de Barquilla (50-60°), Tejoneras (60°) con juego dextro (cartografía) y la conocida en FE como "Grafitosa" con dirección 70-80° y varios movimientos siendo el más evidente cartográficamente senextro. otra banda de fractura de posible importancia regional es la de dirección NE, que pasando al sur de Espeja continúa al sur de Carpio, ésta es menos conocida ya que discurre en la mayor parte de su recorrido por el Terciario, se puede pensar pertenece a la familia Barquilla-Tejoneras.

Las fracturas de dirección 55-65 y juego senextro estarían (13) asociadas a la tercera fase de la zona. Roda (18) propone la siguiente secuencia:

- 1) La formación de filones de cuarzo E-W según S_2 y una esquistosidad de fractura S_3 de dirección NNE y buzamiento ESE, que podría también jugar como falla.
- 2) De acuerdo con el modelo de Parga (20) el desarrollo de fallas conjugadas ESE (115°), SSE (155°), NNE (15°), NE (45°), ENE (60°) todas buzantes al W, resultado de una compresión N-S subhorizontal (donde las NNE jugarían como pinnadas de las NE).
- 3) Rejuego normal posthercínico de estas fracturas en particular las NNE, NE y ENE, estando el sistema NNE, desarrollado durante F_3 y posteriormente relleno de cuarzo, afectado de forma normal por los otros sistemas.

La cubeta de Ciudad Rodrigo estaría formada (8) mediante el juego normal durante el Terciario, de una falla NE, límite sur de la cubeta, combinado con los NNE asociados en escalón a los anteriores (no existe falla limitante al norte).

1.4. Plutonismo

En la zona incluida en la reserva afloran tres tipos distintos de granitoides (11), (15).

- Granitoides de la formación El Alamo.
- Leucogranitos paralumínicos (Granitos Lumbrales).
- Granitos de feldespatos calcoalcalinos (Granitos de Villar de Ciervo).

Los granitoides de la formación El Alamo son los más antiguos, anteriores a la 2ª fase (F_3 hercínica) y se encuentran en forma de diques paraconcordantes en dos formas:

- Pegmatoides de grano grueso.
- Granitos de grano fino de dos micas.

Los leucogranitos paralumínicos (granitos Palingenéticos de dos micas de Lumbrales) se han emplazado autóctonos y subautóctonos sintectónicos respecto a la segunda fase (F_3 hercínica) y han sido datados (14) en 300 m.a..

Se pueden distinguir cuatro facies, (15):

- Facies común: De dos micas, grano medio.
- Facies porfídica de dos micas.
- Facies de grano fino.
- Facies con turmalina.

Estos granitos engloban grandes masas de migmatitas.

Los granitos de feldespato calcoalcalino (Granitos de Villar de Ciervo) corresponden a una misma unidad cuyo afloramiento principal está en Portugal (batolito de Guarda), son alóctonos, emplazados posteriormente con la segunda fase (F₃ hercínica), han sido datados (14) en 280 m.a. por el método Rb/Sr.

Se establecen las siguientes facies, (15):

- Facies común: De dos micas porfídico y grano medio a grueso.
- Facies de borde: Granito o granodiorita porfídica biotítica y grano grueso
- Facies de grano fino, no porfídico y predominio de la biotita.
- Facies de grano fino con sillimanita.
- Facies leucocrática.

Al sur de Gallegos de Argañán así como en el río Azaba, aparecen unas felsitas de naturaleza calcoalcalina con textura porfídica, y una matriz cuarzofeldespática.

En la tabla se proporciona la composición química media (elementos mayores), (8) de estos granitos.

TABLA 1.1 - COMPOSICION QUIMICA MEDIA. ELEMENTOS MAYORES.

	Lumbrales; N = 46			Bañobárez; N = 67			F. de Oñoro; N = 8		
	%	SD	RANGO	%	SD	RANGO	%	SD	RANGO
SiO ₂	73.40	1.32	70.74-76.09	72.19	1.71	69.04-76.84	73.37	1.50	70.27-74.61
TiO ₂	0.18	0.11	0.01-0.47	0.27	0.17	0.01-0.61	0.23	0.20	0.03-0.54
Al ₂ O ₃	14.51	0.60	12.92-15.42	14.33	0.72	12.42-15.97	14.39	0.43	13.81-14.92
FeO _{total}	1.40	0.59	0.51-2.34	2.33	0.72	0.70-4.02	1.38	0.74	0.72-2.87
MgO	0.45	0.30	0.11-1.87	0.61	0.24	0.15-1.15	0.33	0.29	0.02-0.83
CaO	0.62	0.17	0.29-1.01	1.07	0.39	0.44-1.97	0.88	0.48	0.33-0.90
Na ₂ O	3.00	0.29	2.43-3.75	3.21	0.22	2.70-3.78	3.81	0.49	3.20-4.55
K ₂ O	4.82	0.46	3.24-5.75	4.61	0.44	3.71-6.19	4.53	0.50	3.85-5.17
P ₂ O ₅	0.19	0.09	0.01-0.36	0.12	0.07	0.01-0.28	0.13	0.04	0.09-0.20

1.5. Metamorfismo

Durante la primera fase el metamorfismo no supera la facies de los esquistos verdes, alcanzándose la isograda de biotita y granate.

La segunda fase fue acompañada de retrometamorfismo, también en la facies de los esquistos verdes que dió lugar a cloritización de granates y biotita.

El metamorfismo de contacto producido por las intrusiones graníticas dió lugar a la formación de pizarras mosqueadas en la parte externa de las aureolas, y a una fuerte recristalización de las rocas en el

mismo contacto. Las aureolas de contacto están zonados reconociéndose de fuera a dentro las siguientes asociaciones (16):

1. cuarzo, clorita, sericita
2. cuarzo, clorita, moscovita, andalucita
3. cuarzo, biotita, moscovita, andalucita
4. cuarzo, biotita, moscovita, cordierita

1.6. Mineralizaciones

1.6.1. General

Como resultado de la actividad de la Junta de Energía Nuclear (JEN, 1950-1981) y la Empresa Nacional del Uranio, S.A. (ENUSA, 1976-1990) se han descubierto un gran número de yacimientos de uranio en la Península, tanto en el Macizo Hercínico como en sedimentos mesozoicos y cenozoicos (fig. 1.5.). Según clasificación de A. Arribas (3) los depósitos se pueden dividir según los siguientes tipos (se menciona un depósito característico para cada tipo):

A) NO ESTRATIFORMES

1. Filoniano (Vein type)

1.1. Aplítico y pegmatítico

Rocas ígneas: Sierra Albarrana (Córdoba)

Rocas metamórficas: Villanueva del Fresno (Badajoz)

1.2. Mesotermal

Rocas metamórficas: Monesterio (Badajoz)

1.3. Epitermal

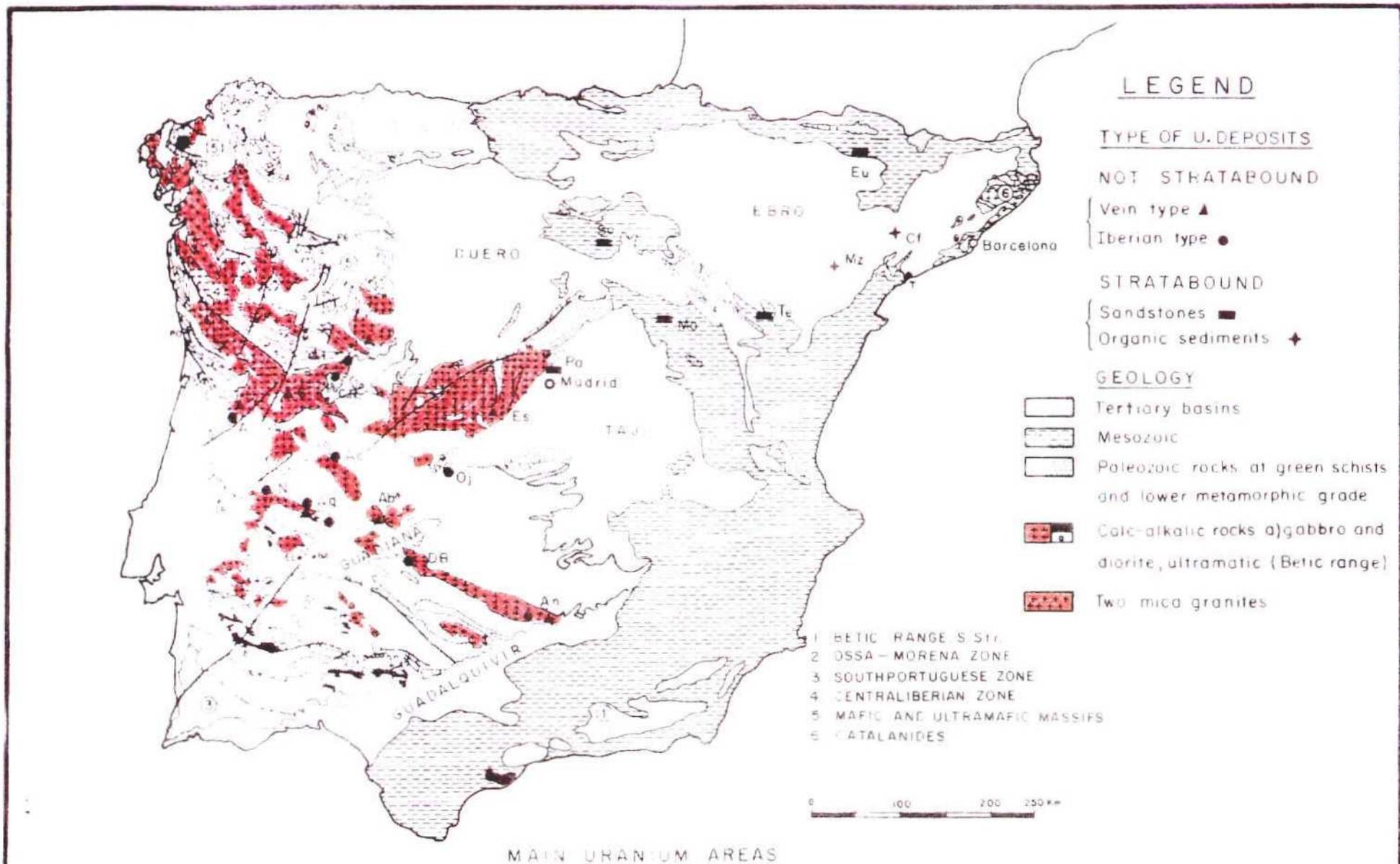
Rocas ígneas: a) Cuarzo poco abundante y pechblenda masiva; Los Ratones; Granito de Albalá (Cáceres).

b) Cuarzo abundante y sulfuros de Fe; Valderrascón; Granito de Alburquerque (Cáceres).

c) Cuarzo abundante y BGPC; Valdemascaño; Granitos de Lumbrales (Salamanca).

d) Cuarzo abundante y sulfuros de Cu; La Virgen; Batolito de los Pedroches, Andujar (Jaén).

e) Coffinita y fluorita; Villar de Peralonso; Granito de Lumbrales (Salamanca).



CR Ciudad-Rodrigo, G Guarda, U. Urganica, A Azere, N Nisa, D B D Benito, Ac Acehuche-Ceclavin, An Andujar, Ab Abala, Mo Molina, Oj Ojaranzos, Aq Albuquerque, Esc Escalona, Te Teruel, So Soria, Cf Calaf 17, Mz Mequenza, Pa Paracuellos, Eu Eureka

FIGURA 1.5- PRINCIPALES AREAS URANIFERAS DE LA PENINSULA IBERICA.

f) Minerales secundarios de U; Cuerpos intragraníticos en la mayor parte del Macizo Hercínico.

Rocas metamórficas; Andujar (Jaén)
Rocas sedimentarias; Cazorla (Jaén)

2. Masivo

2.1. Singenético

Rocas metamórficas; Porriño (Pontevedra)

2.2. Epigenético

Rocas ígneas: Skarn de Burgillos del Cerro (Badajoz)

Rocas metamórficas: FE (Salamanca); Tipo Ibérico

B) ESTRATIFORMES

1. Singenéticos

1.1. Rocas metamórficas; Cuarcita armoricana de Santa Elena (Jaén)

1.2. Rocas sedimentarias

Sedimentos organogénicos; Lignitos Oligocenos (Cataluña)

Areniscas aluviales; Triásico de Mazarete (Guadalajara)

2. Epigenéticos

Rocas sedimentarias: Mioceno de Paracuellos (Madrid)

Dentro de la categoría de epitermales en rocas ígneas y descubierto con posterioridad a la anterior clasificación, habría que añadir un nuevo tipo de coiffinita en episienitas en Sobradillo; Granitos de Lumbrales (Salamanca) (1).

Resultado de la investigación en estos yacimientos ha sido la evaluación de 42.970 t U_3O_8 (Diciembre 1988) de recursos "in situ" es decir geológicos clasificables dentro de la categoría RAR (Reasonably Assured Resources) (fig. 1.6.); No se tiene en cuenta las reservas clasificables como EAR (Estimated Additional Resources) ni S.R. (Speculative Resources).

El 87 % de estos recursos están localizados en rocas del Macizo Hercínico y el 76 % en el C.E.G. de la provincia de Salamanca.

1.6.2. Provincia de Salamanca

Dentro de las mineralizaciones de uranio del oeste de la provincia de Salamanca; se puede hacer una primera clasificac-

"IN SITU" RESOURCES (RAR) - December 1.988		
CIUDAD RODRIGO	(Salamanca)	32.564 t U ₃ O ₈
LA ESPIGADERA - VIESGO	(Cáceres)	1.082 " "
DON BENITO	(Badajoz)	3.658 " "
MAZARETE	(Guadalajara)	5.666 " "
TOTAL		42.970 t U ₃ O ₈

Fig. 1.6
=====

RECOVERABLE RESOURCES AT COST < 80\$/1bU			
	FE	ALAMEDA	TOTAL
t U ₃ O ₈	9.000	8.600	17.600

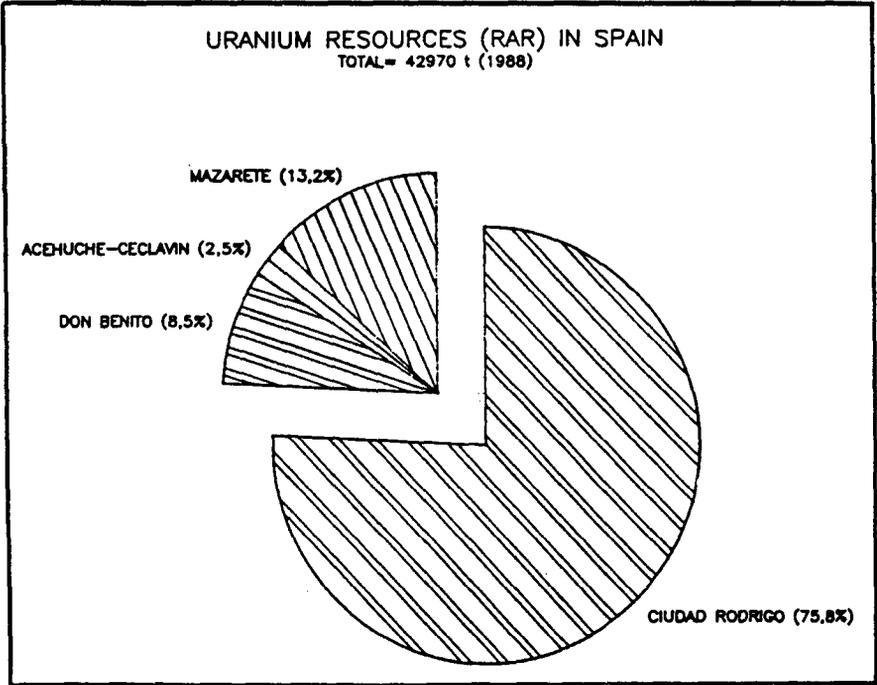
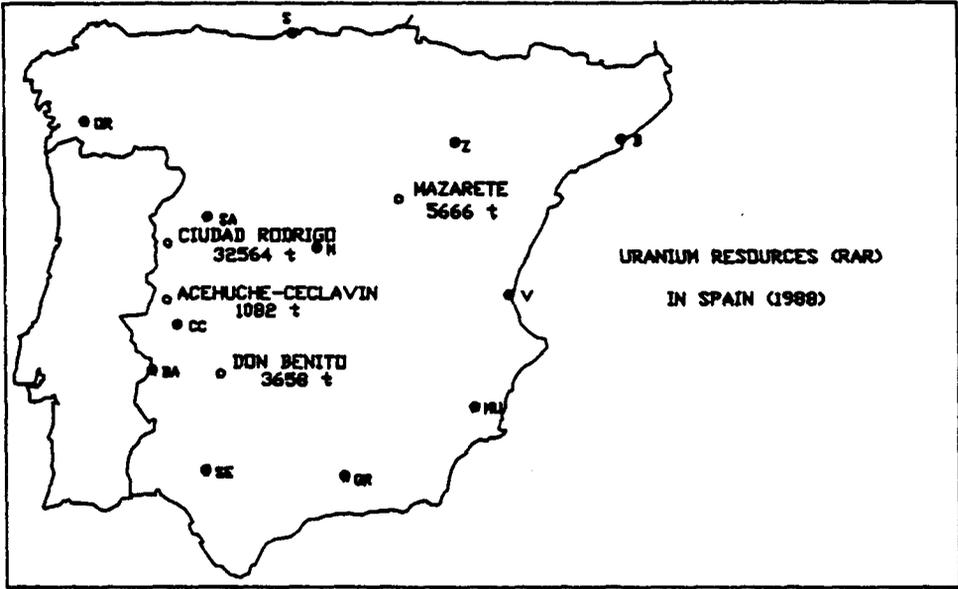


FIGURA 1.6- RECURSOS DE URANIO ESPAÑOLES "IN SITU".

ción según el encajante en a) mineralizaciones encajando en rocas metamórficas (C.E.G. y Ordovícico-Silúrico) y b) encajantes en granito. Los primeros entrarían dentro del grupo de No Estratiformes, Masivos y Epigenéticos, mientras que los del segundo entrarían en No Estratiforme, Filonias y Epitermales de la clasificación de Arribas.

Mineralizaciones encajando en rocas metamórficas

Los yacimientos más importantes de la provincia están situados en metamórfico tanto del C.E.G. como Ordovícico-Silúrico. En un primer estudio de la distribución de indicios utilizando el canal del U de la espectrometría aérea (fig. 3.2.) se observa la alineación de indicios y yacimientos controlada, bien sea por las tres y posiblemente cuatro bandas de fractura que atraviesan el complejo (ver apartado 1.3.2.) bien por el contacto granito-pizarra de las zonas de Alameda y Villar de la Yegua, donde por otra parte coincide con la banda de fractura de Barquilla.

Si se estudia la fig. 1.7. y la fig. 1.8. con las direcciones principales de mineralización en FE se puede observar un cierto control litológico de los indicios a una escala de más detalle. Dado que por los estudios metalogénicos realizados se piensa no hay diferencia en la paragénesis y forma de deposición entre los yacimientos próximos al contacto con los granitos y los alejados de él (área de Mina FE), parece que el contacto granito-pizarra en cuanto a control de la mineralización actúa únicamente como zona de fracturación. En general las bandas de fractura siguen en su trazado zonas tectónicamente complejas, con interferencia de las tres fases de plegamientos principales.

A una escala de aún más detalle (ver fig. 1.4. y 1.8.), la mineralización se distribuye según la red de fracturas de una forma independiente a la litología. Las fracturas siguen preferentemente flancos invertidos y planos axiales de F_1 y F_2 (12).

Así pues, se pueden concluir que los controles estructurales de la mineralización consisten en:

- a) Alineación según cuatro grandes bandas de fractura de importancia regional próximas a las cuales se sitúan los yacimientos.
- b) A una escala de más detalle es aparente el control litológico existente sobre algunas de las mineralizaciones.
- c) A escala aún más detallada la mineralización se distribuye independientemente de la litología y en la red de fracturación; Es el caso del yacimiento mejor conocido (FE).

Los yacimientos del área de Ciudad Rodrigo se resumen en la siguiente tabla:

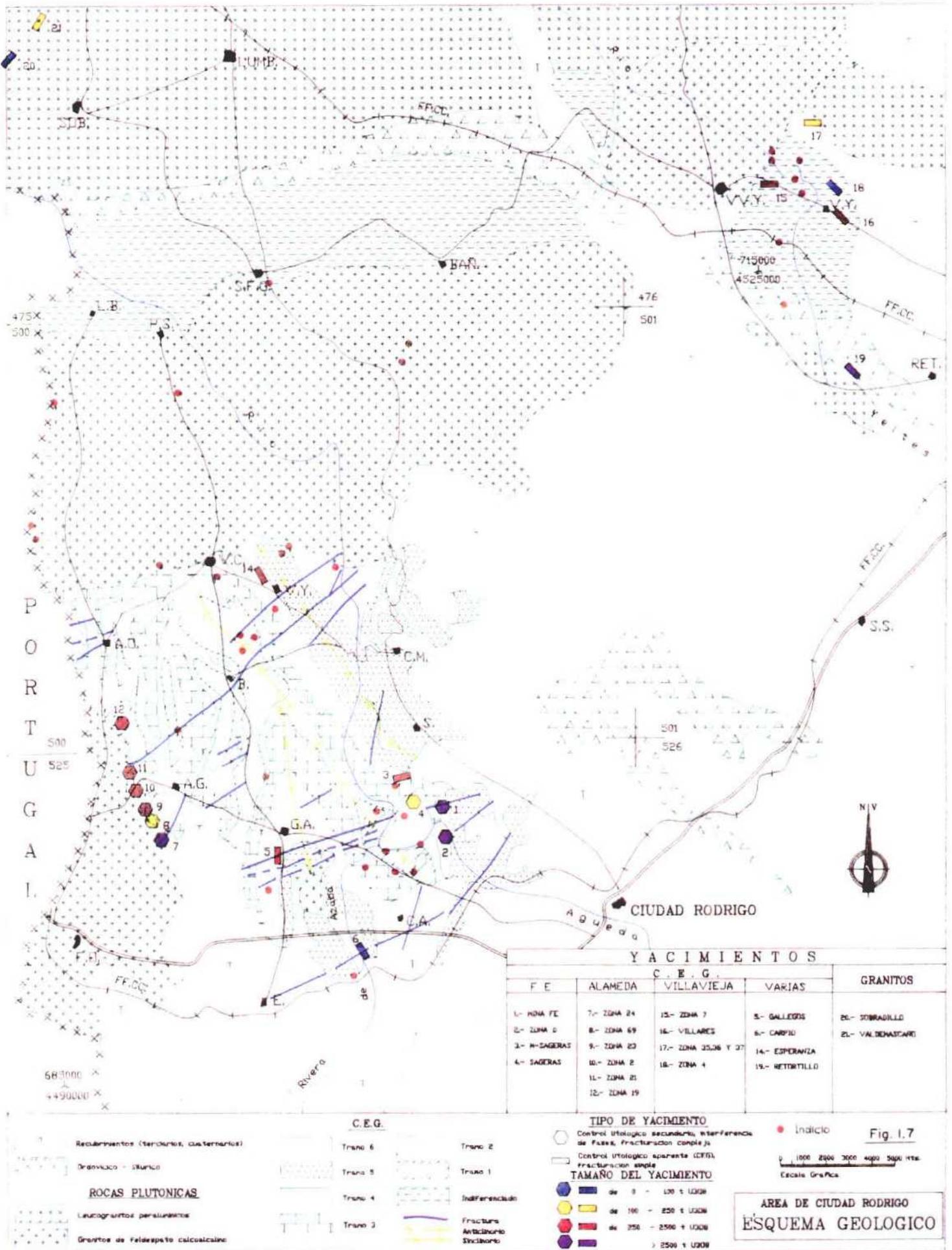


FIGURA 1.7- ESQUEMA GEOLOGICO Y SITUACION DE INDICIOS Y YACIMIENTOS DE URANIO EN EL AREA DE CIUDAD RODRIGO.

BOREHOLE CUMULATIVE GRADE AT FE MINE (SPAIN)

Fig. 1.8

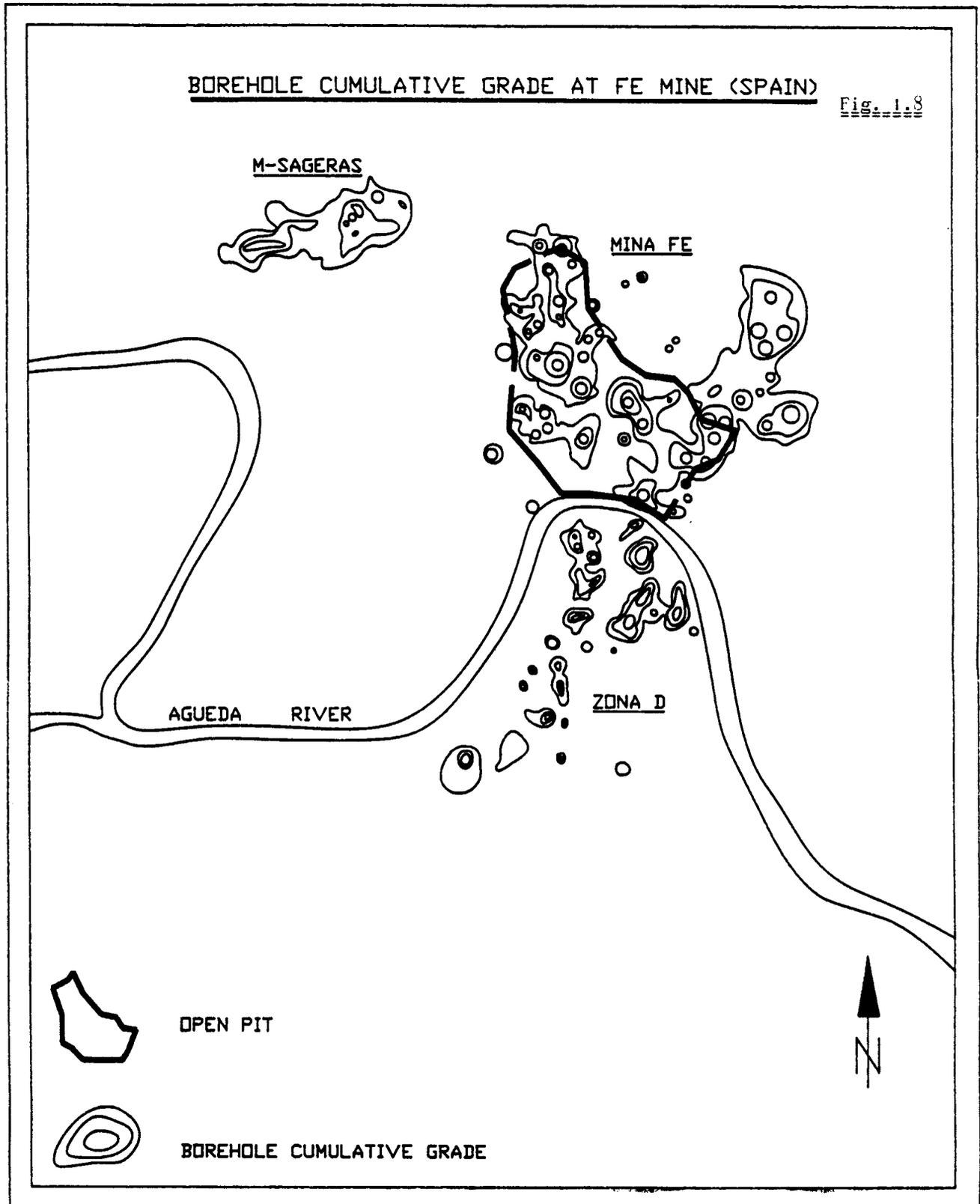


FIGURA 1.8- DISTRIBUCION DE LA MINERALIZACION DE URANIO EN MINA FE, A PARTIR DE DATOS DE SONDEOS.

TABLA 1.2- YACIMIENTOS DEL AREA DE CIUDAD RODRIGO.

YACIMIENTO	SITUACION ESTRATIGRAFICA	SITUACION TECTONICA			RECURSOS t U ₃ O ₈ (R.A.R.)
		Estructura F ₁	E. posterior F ₂ y F ₃	Banda fractura	
FE	CEG Tramos 3, 4 y 5	Flanco inverso Anticlinal del Agueda	Plegado por F ₂ y F ₃	Grafitosa	9.758
D	CEG Tramos 1, 2, 3 y 4	"	"	Tejoneras	4.177
M-Sageras	CEG Tramos 3 y 4	"	"	-	2.832
Gallegos	CEG Tramo 4	Flanco inverso Sinclinal de Gallegos	-	Grafitosa	387
Carpio	CEG Tramo 6	Núcleo Sincli- nal de Gallegos	-	Espeja-Carpio	14
Alameda (Zonas 24, 23,69,21 y 19)	CEG Tramos 1, 2 y 3	Contacto granito F.O.	Plegado por F ₂ y F ₃	Barquilla en la parte N	10.444
Esperanza	CEG Tramos 4 y 5	Contacto grani- to V.C., flanco inverso sincli- nal de Villar de la Yegua	-	Barquilla en la parte sur	921

Para la clasificación empleada en la fig. 1.7. se han dividido los yacimientos únicamente en dos grupos:

Grupo 1: Control litológico secundario, más de una fase de plegamiento importante, fracturación compleja: FE, Alameda.

Grupo 2: Control litológico aparente, fracturación según direcciones predominantes: Esperanza, Carpio, Gallegos, M-Sageras.

Las paragénesis de las mineralizaciones en estos yacimientos son similares y consisten en pirita-marcasita, pechblenda-coffinita y carbonatos. Las dataciones sobre pechblenda de Mina FE y Alameda han dado edades de 37 y 57 m.a. por el método U/Pb (ver fig. 1.9).

No se detallan los yacimientos en el metamórfico de Villavieja-Retortillo por situarse fuera de la zona del presente estudio. De todas formas se incluyen en el plano de la fig. 1.7.

Mineralizaciones en granitos

Tampoco son objeto del presente estudio, pero también se incluyen en la fig. 1.7. y se resumen en la tabla siguiente:

MICROTECTONIC AND METALLOGENIC STAGES EN FE MINE

Fig. 1.9

METASEDIMENTOS					
GRANITOS					
CUARZO					
APATITO					
TURMALINA					
MOSCOVITA					
ADULARIA					
PIRITA (MARCASITA)					
CLORITA (BIOTITA)					
ZnS, PbS, CuFeS ₂					
CARBONATOS					
HEMATITES					
PECHBLENDA					
COFFINITA					
FLUORITA					
GUMMITAS					
MINERALES U ⁶²					
LIMONITA					
	1 ^o FASE (S ₁) DE FUJIO	2 ^o FASE (S ₂) DE CREMALLERA	FRAGTURACION Y BRECHIFICACION		
	FASES TECTONICAS MERCINICAS	CONTRAGOLPES ALPINOS FASES URANIFERAS INICIALES TARDIAS		FASE SUPERGENICA	

(From: A. ARRIBAS, 1.985)

APPARENT AGES AND ISOTOPIC RELATIONS IN A SAMPLE OF PITCHBLENDE (FE MINE, SAELICES - SALAMANCA)

	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$
RELACIONES	0.0057772	0.037570	0.047165
ERRORES	0.74 %	0.76 %	0.175 %
EDADES	37.13 Ma	37.45 Ma	57.65 Ma

CONCENTRACIONES EN LA PECHBLENDA

Pb TOTAL	11,305.8 PPM
Pb COMÚN	34.0 PPM
U	24.45 %

COMPOSICIÓN ISOTÓPICA DE LA GALENA DE MINA FE

$^{206}\text{Pb}/^{207}\text{U}$	18.975 ± 0.12 %
$^{206}\text{Pb}/^{208}\text{U}$	68.724
$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{U}$	2.652.6 ± 0.60 %
$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{U}$	138.79 ± 0.56 %
$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{U}$	38.598

ANALIST : KEN LUDWIG, USGS, DENVER (EEUU)

(From: A. ARRIBAS, 1.985)

FIGURA 1.9- ASOCIACION MINERAL Y RELACIONES ISOTOPICAS (DATACIONES) SOBRE LA PECHBLENDA EN MINA FE.

TABLA 1.3- MINERALIZACIONES EN GRANITOS.

<u>Yacimiento</u>	<u>Granito</u>	<u>Tipo de mineralización</u>	<u>t U₃O₈ (E.A.R.)</u>
Villar de Peralonso	Leucogranitos Peraluminosos	Filoniana, epitermal con coffinita y fluorita	125
Valdemascaño	Leucogranitos Peraluminosos (Lumbrales)	Filoniana, epitermal cuarzo abundante y BGPC	150
Sobradillo	"	Filoniana, epitermal Episienitas con coffinita	50
Los Propios y otros	Todos los granitos	Filoniana, epitermal y supergénicos, con minerales secundarios	-

REFERENCIAS

1. ARNAIZ, J.; ARRIBAS, A.; GARCIA LUIS, A. (1984): Caracteres geológicos, prospección y evaluación de las episienitas uraníferas de Sobradillo (Salamanca). VIII Congreso Int. de Minería y Metalurgia. Barcelona. t.I; pp. 311-326.
2. ARNAIZ, J.; RUIZ ESTEBAN, B.; RUIZ SANCHEZ-PORRO, J.: "Update of uranium resources in Spain; U deposits in the Salamanca Province" (In press); TECHNICAL COMMITTEE MEETING ON URANIUM RESOURCES AND GEOLOGY IN EUROPE, IAEA, Mariánské Lázně, Czechoslovakia, september 1989.
3. ARRIBAS, A. (1975): Caracteres geológicos de los yacimientos españoles de uranio. Stud. Geol., 9; pp. 7-63.
4. ARRIBAS, A. et al (IGA) (1982): Caracteres geológicos y cartográficos del buzamiento metamórfico del área comprendida entre Ciudad Rodrigo y Lumbrales. Informe interior ENUSA.
5. ARRIBAS, A.; MARTIN-IZARD, A.; MONTES, J. (1983): Las mineralizaciones de uranio de la zona de Alameda de Gardón y su posición en el contexto geotectónico de las pizarras del oeste de la provincia de Salamanca. Stud. Geol. XVIII, pp. 201-224.
6. ARRIBAS, A.; MARTIN-IZARD, A.; MONTES, J. (1984): Distribución geoquímica del uranio en los metasedimentos del C.X.G. del oeste de la provincia de Salamanca. VII Congreso Int. de Minería y Metalurgia. Barcelona, t.I; pp. 353-357.
7. ARRIBAS, A. (1985): Origen, transporte y deposición del uranio en los yacimientos en pizarras de la provincia de Salamanca. Est. Geol., 42; pp. 3-24.
8. BEA, F.; SANCHEZ GONZALEZ DE HERRERO, J.G.; SERRANO PINTO, M. (1987): Una compilación geoquímica (elementos mayores) para los granitoides del Macizo Hespérico. Libro homenaje a L.C. García de Figuerola pp. 87-193.
9. BELLO, V.; CRIADO, M.; RIOS, J.M. (1988): Análisis de los resultados obtenidos con voladuras en bancos de 3 y 6 m en mina Fe. VIII Congreso Int. de Minería y Metalurgia. Oviedo, t.II; pp. 209-231.

10. CARBALLEIRA, J.; CORRALES, I. (1977): La serie ordovícica de la Peña de Francia (Salamanca) VIII Congr. Nacional Sedim., Oviedo-León.
11. CARNICERO, A. (1980): Estudio petrológico del metamorfismo y los granitoides entre Cipérez y Aldea del Obispo (W de la provincia de Salamanca). Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca.
12. COMA, F. (1983): Litología, tectónica y mineralización del yacimiento FE, Saelices el Chico (Salamanca). Stud. Geol., XX; pp. 7-18.
13. CORRETGE, L.G.; LOPEZ-PLAZA, M. (1977): Geología del área granítica y metamórfica al Oeste de Ciudad Rodrigo (Salamanca): II. Las rocas graníticas. Stud. Geol., XII; pp. 47-75.
14. GARZON, G.J.; LOCUTURA (1981): Datación por el método Rb-Sr de los granitos de Lumbrales-Sobradillo y Villar de Ciervo-Puerto Seguro. Boletín Geológico y Minero: T XCII-I. Año 1981 pp 68-72.
15. LOPEZ PLAZA, M.; CARNICERO, A. (1987): El plutonismo hercínico de la perrillanura Salmantino-Zamorana (Centro oeste de España): Visión de conjunto en el contexto geológico regional. Libro homenaje a L.C. García de Figuerola pp. 53-68.
16. MARTIN-IZARD, A. (1985): El origen de los yacimientos de uranio en las pizarras del Complejo Esquisto-Grauváquico. Tesis Doctoral, Universidad de Salamanca.
17. MARTINEZ, F.J.; GIL IBARGUCHI, I. (1983): El metamorfismo en el macizo Ibérico. En "Libro Jubilar J.M. Ríos", t.I; pp. 555-569. I.G.M.E.
18. RODA, J. (1981): Investigaciones sobre el "COMPLEJO ESQUISTO-GRAUVAQUICO ANTEORDOVICICO" al NW de Ciudad Rodrigo, Salamanca. Tesis de Licenciatura. Universidad de Barcelona.
19. RODRIGUEZ ALONSO, M.D. (1979): El Complejo Esquisto-Grauváquico y los materiales ordovícicos al SE de Ciudad Rodrigo (Salamanca, España) Stud. Geol. XIV, 7-34.
20. PARGA, J.R. (1969): Sistemas de fracturas tardihercínicas del Macizo Hespérico. Trab. Lab. Geol. de Lage, 37, Lage.

**CAPITULO - 2 - LANDSAT LINEAMENTS AND STRUCTURAL CONTROL
OF MINERALIZATION IN THE MINA FE AREA, CIUDAD RODRIGO,
SPAIN.**

David J Sanderson (University of Southampton).

2.1 - INTRODUCTION

In this chapter we discuss the analysis and interpretation of Landsat satellite imagery in the region of Mina Fe, Ciudad Rodrigo. More extensive discussion of the methods used can be found in volume 1 of this report (Gumiel, 1990).

Satellite remote sensing systems, such as Landsat and Spot have provided much useful data for the mapping of tectonic structures and application to mineral exploration. The advent of multi-spectral scanners and radar systems producing digital imagery has led to an explosion of new methods of analysis.

Two main features of remote sensing systems have become widely used in geological exploration:

1) multispectral measurement of surface reflectance (see Gumiel, 1990, chapter 8),

2) spatial reflectance changes produced by sub-surface structure.

In mineral exploration, the multispectral approach involves the detection of an anomalous spectral response from surface rock, soil or vegetation which can be related to an orebody. Thus it is limited to the detection of near-surface targets and has proved most successful in areas with little or no vegetation or where orebodies produce significant 'alteration' zones.

The mapping of structures and lineaments is essentially an extension of photogeological interpretation, where surface features are related to subsurface discontinuities, whose detection requires enhancement of gradients and discontinuities in surface reflectance. Traditionally photolineament detection has utilized stereo-images derived from overlapping photographs, but Landsat and most other remote sensing systems produce limited overlap of imagery. The multispectral nature of much remotely sensed imagery and its digital form allow computer enhancement, combination and filtering of the data offering new and challenging opportunities to those engaged in geological exploration.

In many areas, particularly where superficial cover limits spectral resolution of bedrock, lineaments form the most coherent data derivable by remote sensing methods.

The main purpose of this chapter is to discuss a structural approach to lineament analysis and to demonstrate some applications of its use in the Mina Fe area. Comparisons will be made with ground sampling and lineaments determined from air photographs.

2.2 - PRODUCTION OF LINEAMENT MAPS FROM LANDSAT TM IMAGERY

2.2.1 - Imagery

Landsat TM imagery was selected for use in this study, because of its moderate spatial resolution (30m) and geologically useful spectral characteristics. The Mina Fe area is contained within a single quadrant of Landsat TM data (path 203, row 32, quadrant 2). A cloud-free image acquired on the 15th July 1984 was selected for study; CCTs of all seven bands of TM data for this quadrant were obtained. In addition some Panchromatic SPOT imagery were examined, but no digital processing of these data was attempted.

2.2.2 - Image processing

The digital imagery was processed using Erdas software on a SUN/4 computer in Southampton University. The digital data were subject to various enhancement techniques, principally using bands 3, 4, 5 & 7. These were subject to various forms of contrast stretching and band combination, principal components, ratioing and spatial filtering. The resulting images were used to map major lineaments; interpretations of individual image extracts being combined at a scale of 1:50,000.

Spatial filtering was used to transform images and enhance directional features. Directional or gradient filters are easily applied to digital images by convolution using a $n \times n$ operator, such as the Roberts or Sobel operators. In their simplest form these operators can be used to detect gradients in an E-W, N-S, NE-SW or NW-SE direction, but larger operators are easily rotated to other directions if required. The choice of filter size (n) can be adjusted to sample gradients of various wavelength. Application of a single operator gives a measure of the gradient in one direction; use of two orthogonal filters can be used to estimate the magnitude (and direction) of the gradient.

2.2.3 - Lineament interpretation.

The drawing of lineaments on images is a traditional skill of the photogeologist, but is inevitably subjective. Various attempts have been made to utilize the digital nature of satellite images in the automatic detection of such linear features. Most geological lineaments are produced by very subtle gradients and changes in texture, whose response to digital processing is complex (see Gumiel, 1990, chapter 10, for a brief discussion). Larger

geological faults are often more obvious as lineaments across which higher-frequency variations, produced by smaller fractures, bedding etc. and even changes in field pattern and landuse), are discontinuous.

In this study all lineaments were interpreted by visual inspection of a variety of digitally processed imagery. The separation of structural features from other geological and cultural lineaments is probably best tackled by the analyst on a subjective basis during image interpretation.

Lineament maps were digitized using a TDS digitizing table linked to an IBM PS/2, using software developed by Sanderson at Queen's University, Belfast and the University of Southampton. The data are stored on disk ready for input into plotting and processing programs. In this study all data were transformed into UTM coordinates by matching control points on the imagery and maps.

2.3 - STRUCTURALLY CONTROLLED PROCESSING OF LINEAMENTS IN THE MINA FE AREA.

Lineament data have scalar (length), directional and spatial information, and these features require different, but interdependent, forms of analysis. Structurally Controlled Processing was developed by Sanderson & Dolan (1986) as part of earlier EEC funded research into the use of remote sensing in the raw materials programme. Basically it consists of a package of computer programmes, which have been re-written for IBM PS/2 microcomputers as part of this project, to facilitate the manipulation and display of the directional and spatial attributes of lineament data. These allow plotting, georeferencing, directional filtering, etc. of lineaments and the generation of rose diagrams and maps of various parameters related to the spatial distribution of lineaments (for details see Gumiel, 1990, chapter 10).

The distribution of lineaments mapped from various enhancements of TM data in the Mina Fe area is shown in Fig. 2.1, and the orientations of these summarized in Fig. 2.2. The data can be divided into three clearly defined sets trending 020° , 050° and NW-SE (Table 2.1). The latter set is relatively minor and has a poorly defined modal orientation, indeed it may be represented by two sets. All the lineaments have been assigned to one of these three sets and the NE-SW set accounts for almost half the data.

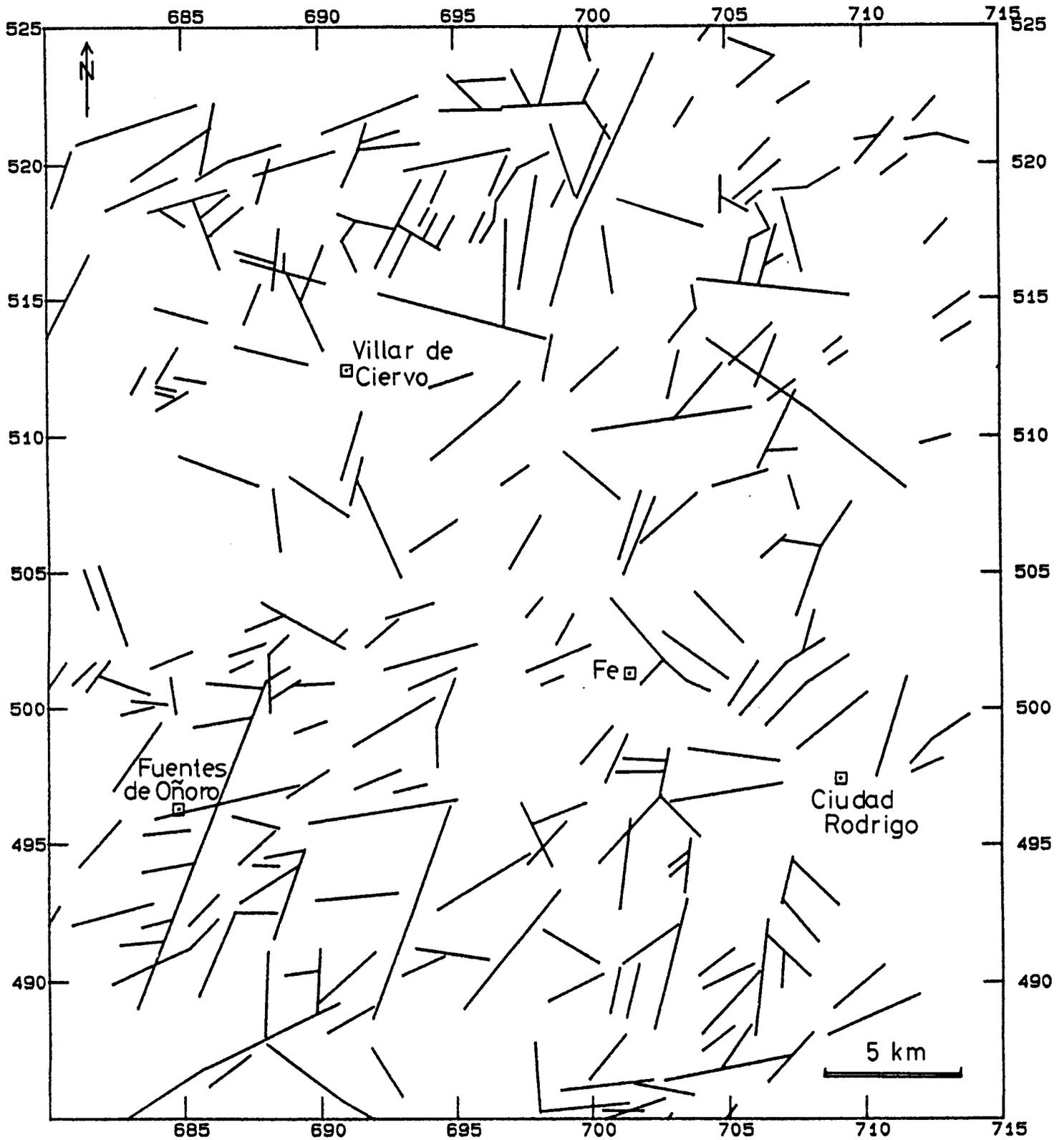


FIG. 2.1- LINEAMENTS MAPPED FROM LANDSAT TM IMAGERY IN THE MINA FE AREA, SALAMANCA PROVINCE, SPAIN.

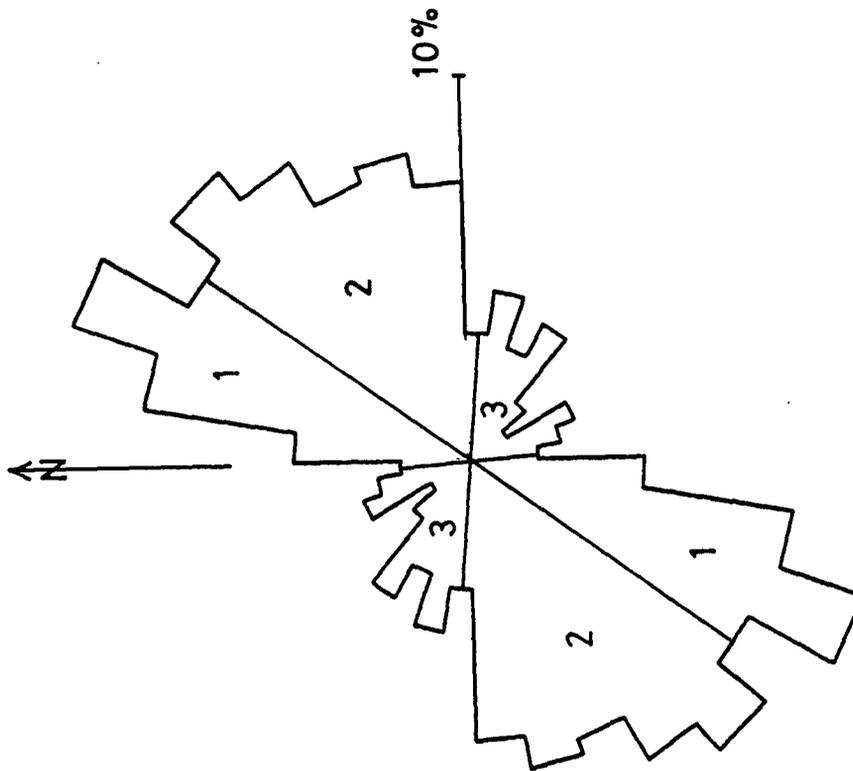


FIG. 2.2- ROSE DIAGRAM OF LANDSAT TM LINEAMENTS.

Table 2.1 - Summary of TM lineaments, Mina Fe area, Salamanca Province, Spain.

Set	Mode	Range	%
1 (NNE-SSW)	020°	175-035	29.2
2 (NE-SW)	050°	035-095	48.1
3* (NW-SE)	125°	095-175	22.7

* possibly two sets at 110° and 155°

2.4 - SPATIAL ANALYSIS OF TM LINEAMENTS

The pattern of lineaments is fairly constant throughout the area, but with some local variation in the proportions within each of the three sets. This is fairly clear from the rose diagrams constructed for 5 x 5 km square blocks (Fig. 2.3). In general individual lineaments are easily assigned to one of the three main sets (Table 2.1). For structurally controlled processing ranges specified in Table 2.1 have been used to sub-divide the data.

2.4.1 - Density

The density map (Fig. 2.4), calculated for a 3 x 3 km moving window, shows higher values over the granite to north of Villar de Ciervo and at Fuentes de Onoro. In addition there are local areas of high density around Ciudad Rodrigo and to the south. These variations could, in part, represent differences in surface characteristics of the rocks.

2.4.2 - Directional density and dominance

By assigning lineaments to one of the three main sets (Table 2.1) it is possible to examine the directional density of each. Since all lineaments were assigned to one of the three sets, these maps have strong internal correlations. This becomes more acute in the dominance maps, where the closure forces many negative correlations.

The NNE-SSW lineament set contains one or two long lineaments and locally high concentrations over the granites (Fig. 2.5), especially along the southern part of the Villar de Ciervo granite.

The directional density of the NE-SW lineaments (Fig. 2.6a) is generally high and is the dominant set over much

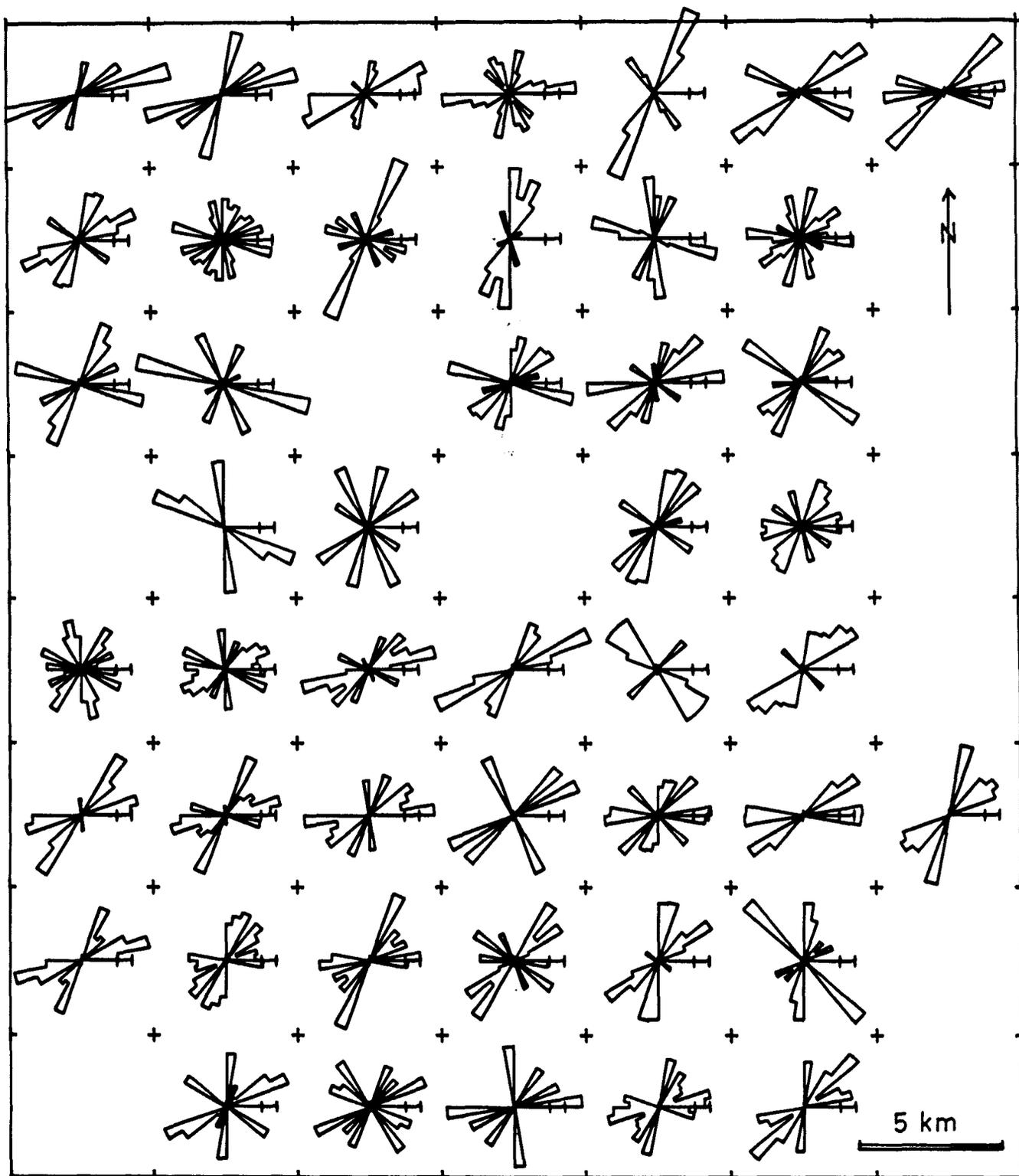
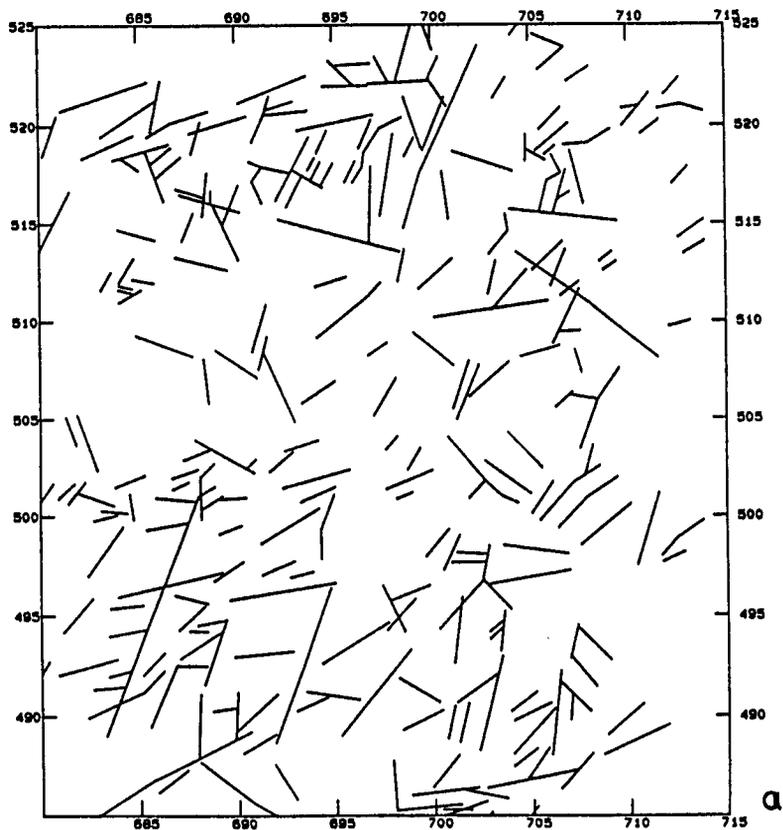


FIG. 2.3- ROSE DIAGRAMS OF SUB-AREAS OF LANDSAT LINEAMENT INTERPRETATION.



Smoothed density map

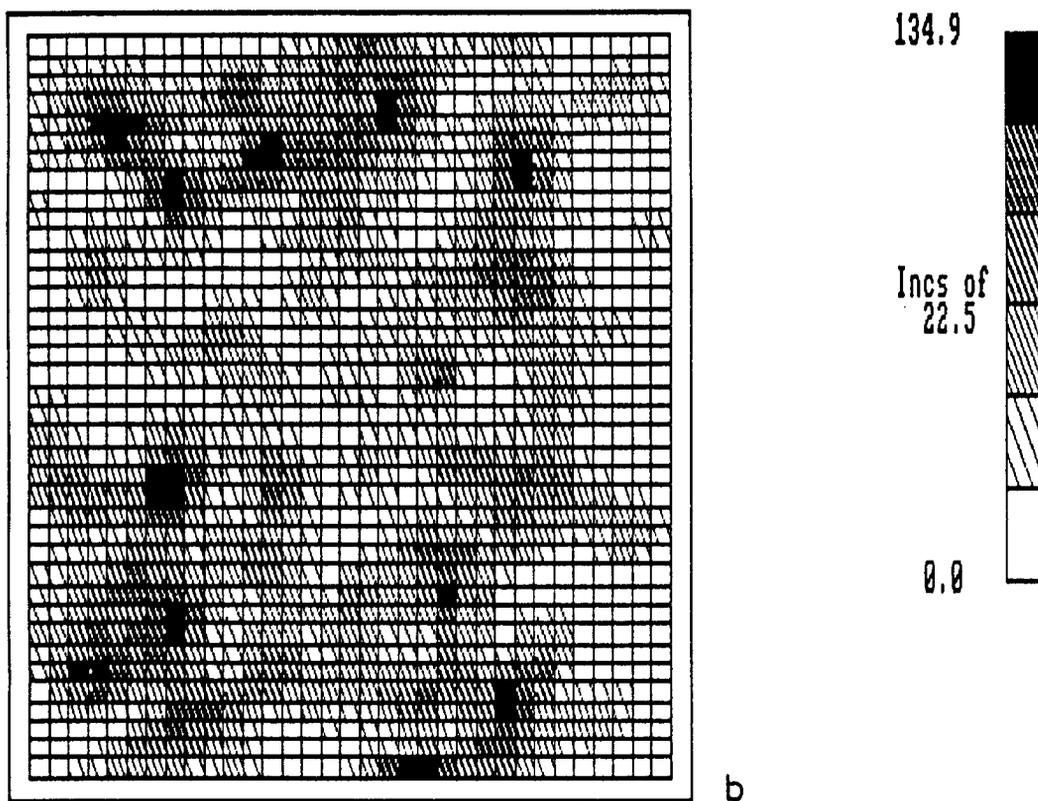
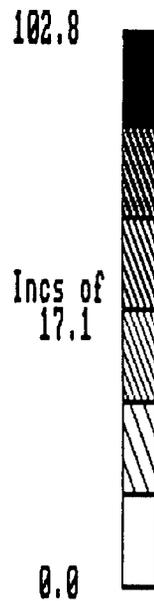
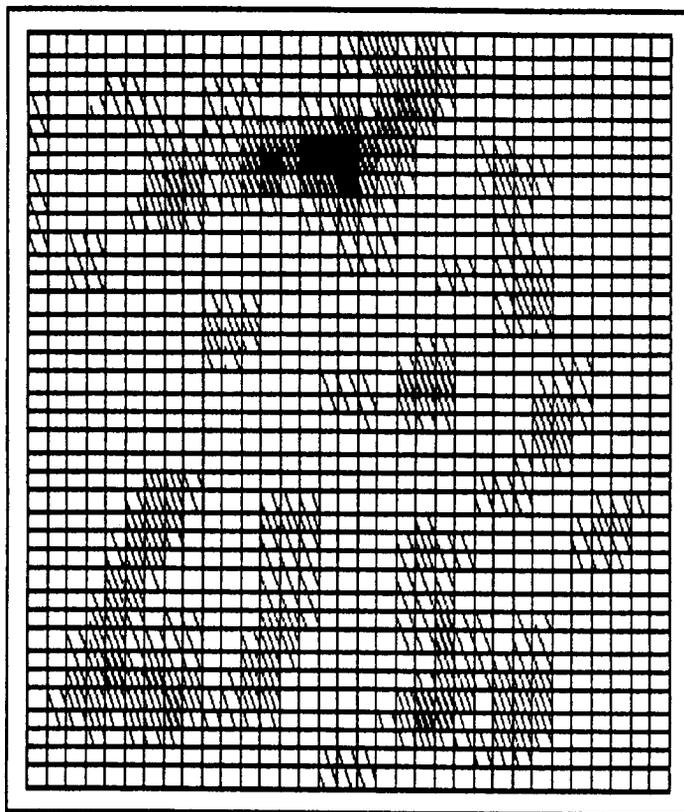


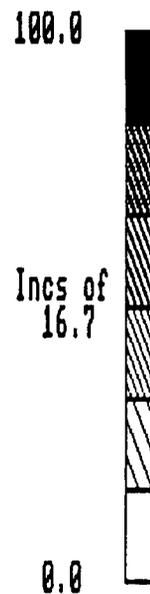
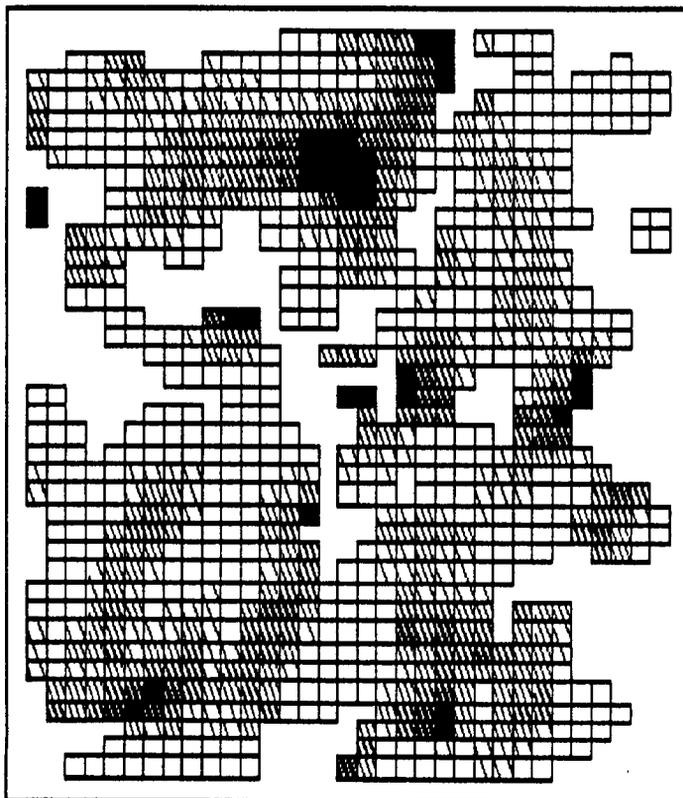
FIG. 2.4- (TOP) SMALL LINEAMENT MAP TO WHICH ALL SUBSEQUENT COMPUTER DRAWN FIGURES RELATE; (BOTTOM) LANDSAT TM LINEAMENT DENSITY ($Km^1 \times 100$); DATA SAMPLED OVER 3X3 KM MOVING AVERAGE GRID.

Smoothed directional density map 175 - 35



a

Smoothed Dominance Map 175 - 35



b

FIG. 2.5- DIRECTIONAL DENSITY (TOP) AND DOMINANCE (BOTTOM) OF NNE-SSW (175-035°) LANDSAT LINEAMENTS.

of the area (Fig. 2.6b), especially between Fuentes de Onoro and Ciudad Rodrigo. Whilst the NE-SW lineaments occur throughout the area, there are three or four distinct zones or swarms of lineaments defining major structures. It is interesting to note that Mina Fe lies at the northeastern end of one of these zones.

The NW-SE set is patchily distributed and generally less dominant (Fig. 2.7). It is most dominant along the margin of the Villar de Ciervo granite and notably near Mina Fe.

There is an interesting variation in the lineaments in the Villar de Ciervo granite. The NE-SW ones are dominant in the centre of the granite (ie. the northern margin of sheet 500). Towards the south they are largely replaced by the N-S set, whilst the NW-SE set is locally dominant at the margin and in the aureole.

2.5 - LINEAMENT ANALYSIS FROM AIR PHOTOGRAPHY.

In addition to the TM imagery, a map of lineaments produced by ENUSA from air photograph was digitized (Fig. 2.8). These data cover the 1:50,000 sheets 525 (Ciudad Rodrigo) and 500 (Villar de Ciervo). The data define three sets of lineaments, summarized in Table 2.2 and Fig. 2.9.

Table 2.2 - Summary of lineaments determined from air photographs by ENUSA in the Mina Fe area, Spain.

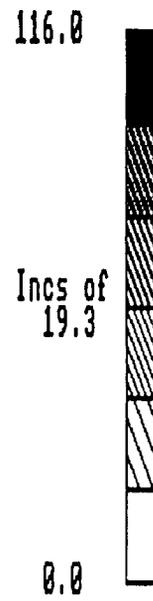
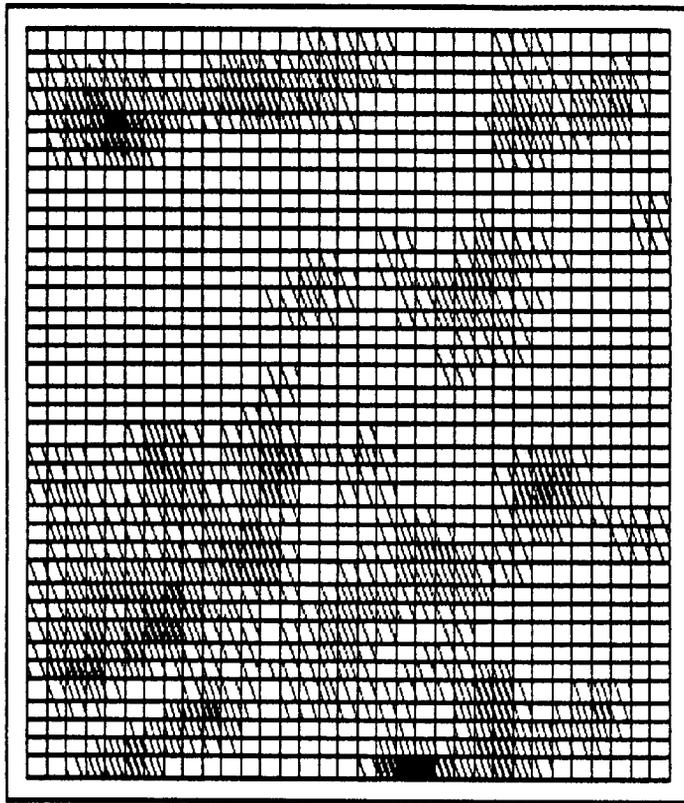
Set	Mode	Range	%
NNE-SSW	020 ⁰	175-035	28.6
ENE-WSW	060 ⁰	035-095	29.5
NW-SE	130 ⁰	095-175	41.9

The orientation of air photograph and Landsat lineaments is very similar, with the same three modal trends (Tables 2.1 and 2.2). Individual lineaments also correspond closely, especially the larger ones on the aerial photographs (Figs. 2.1 and 2.8).

The lineaments are more densely developed in the granites and in an E-W zone between Ciudad Rodrigo and the granite at Fuentes de Onoro (Fig. 2.10). Prominent NNE-SSW lineaments are developed most dominantly in the granites (Fig. 2.11). This set includes several long lineaments in the southern part of the area. The other two sets of lineaments are fairly evenly distributed through the area.

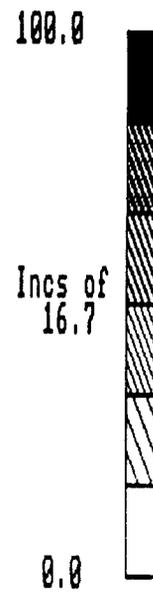
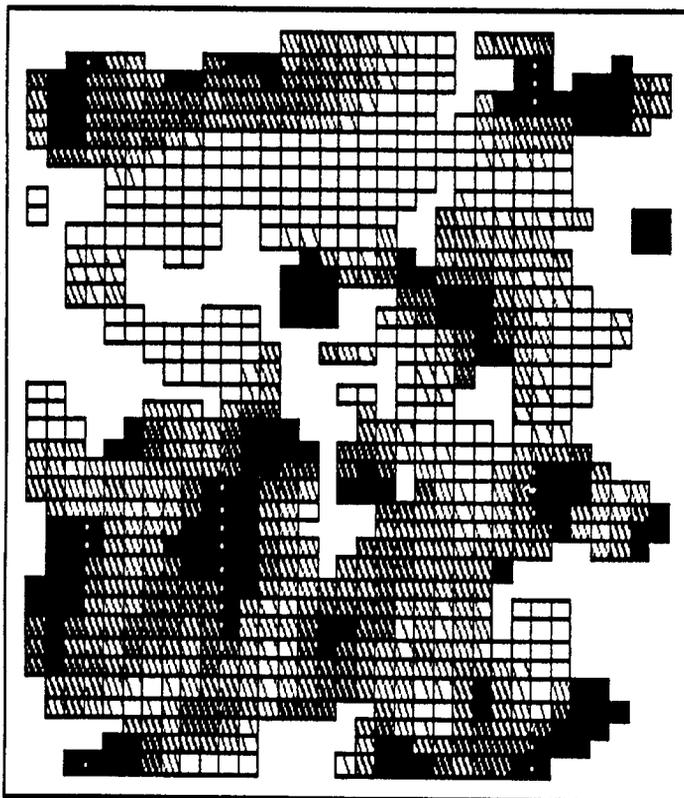
The most obvious difference between the TM and air

Smoothed directional density map 35- 95



a

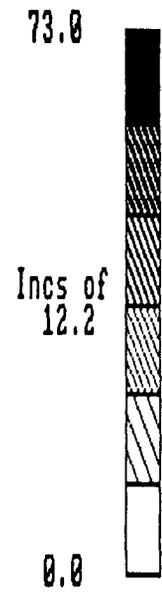
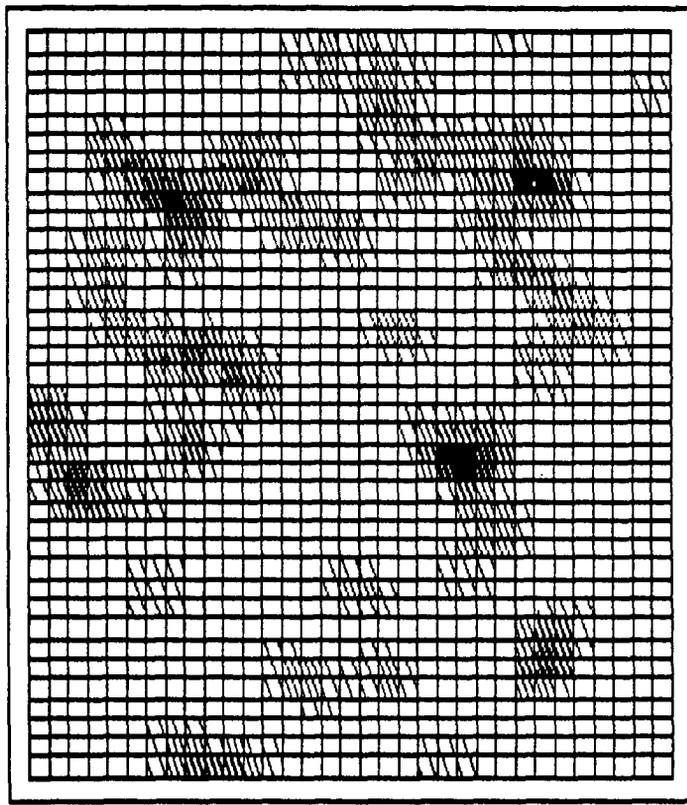
Smoothed Dominance Map 35 - 95



b

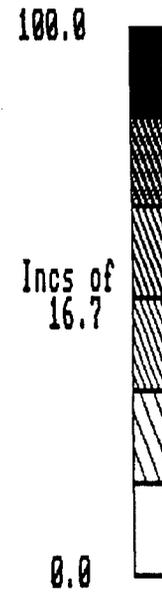
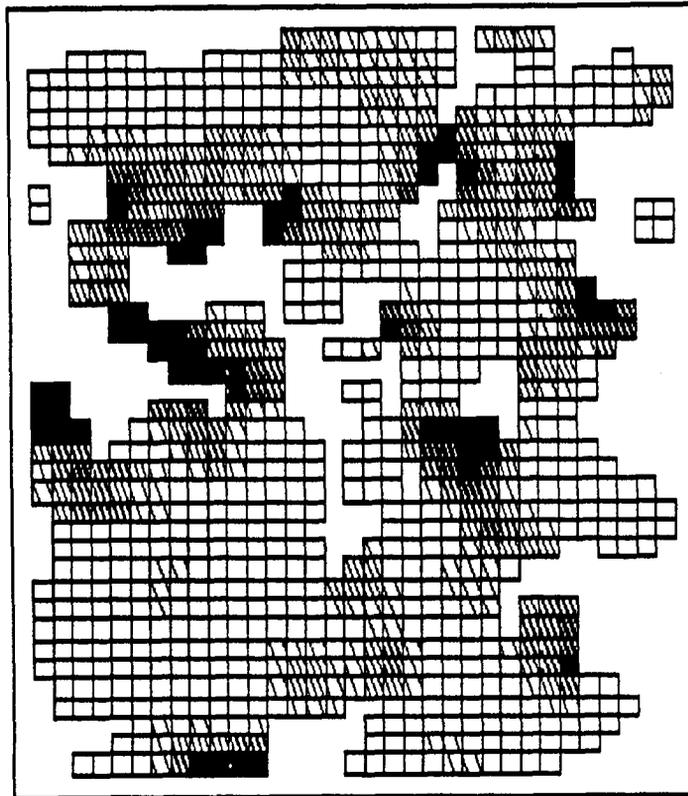
FIG. 2.6- DIRECTIONAL DENSITY (TOP) AND DOMINANCE (BOTTOM) OF NE-SW (035-095°) LANDSAT LINEAMENTS.

Smoothed directional density map 95 - 175



a

Smoothed Dominance Map 95 - 175



b

FIG. 2.7- DIRECTIONAL DENSITY (TOP) AND DOMINANCE (BOTTOM) OF NW-SE (095-175°) LANDSAT LINEAMENTS.

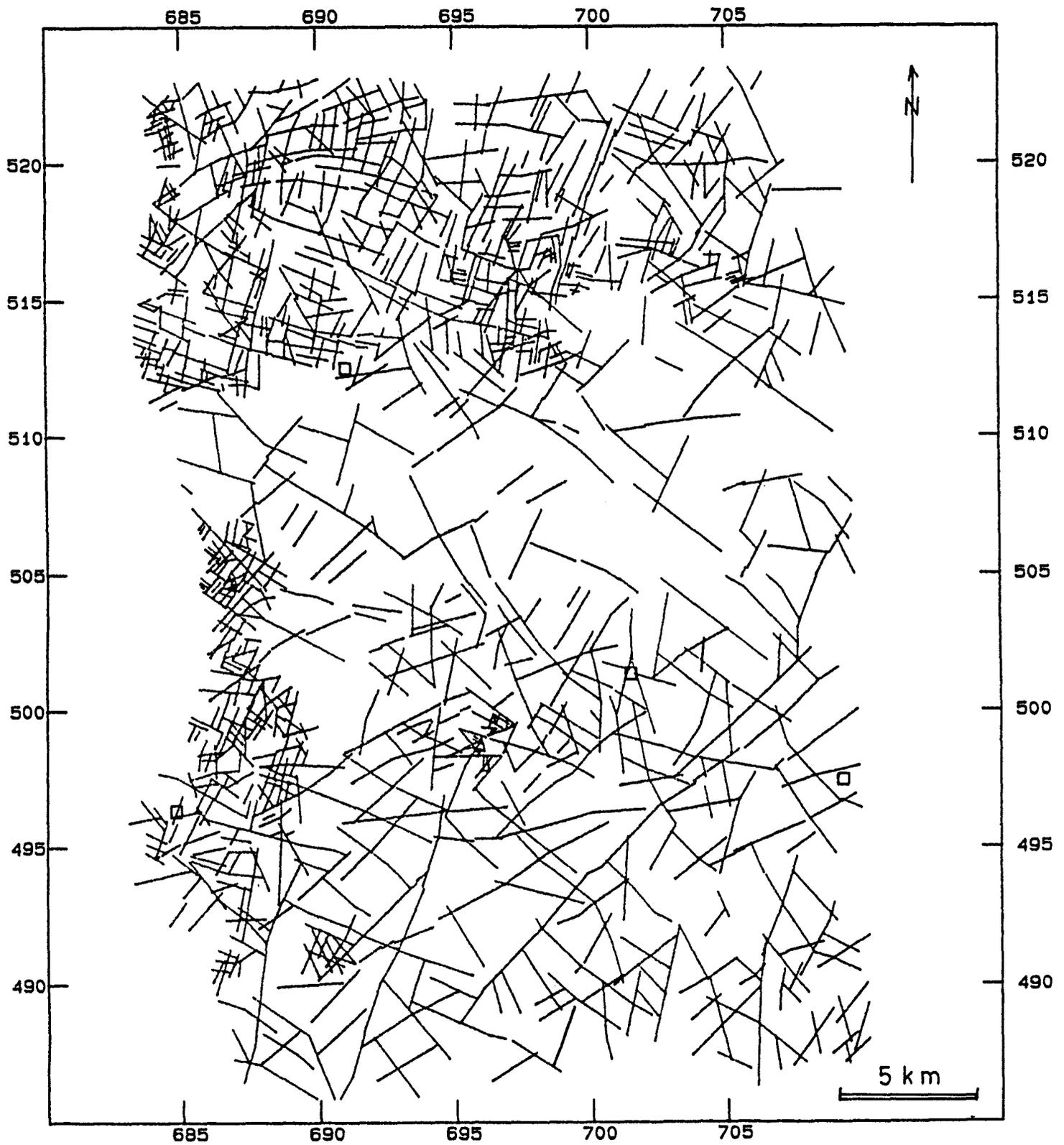


FIG. 2.8- AIR PHOTOGRAPH LINEAMENTS, COMPILED FROM DATA BY ENUSA, COVERING 1:50.000 SHETS 525 (CIUDAD RODRIGO) AND 500 (VILLAR DEL CIERVO).

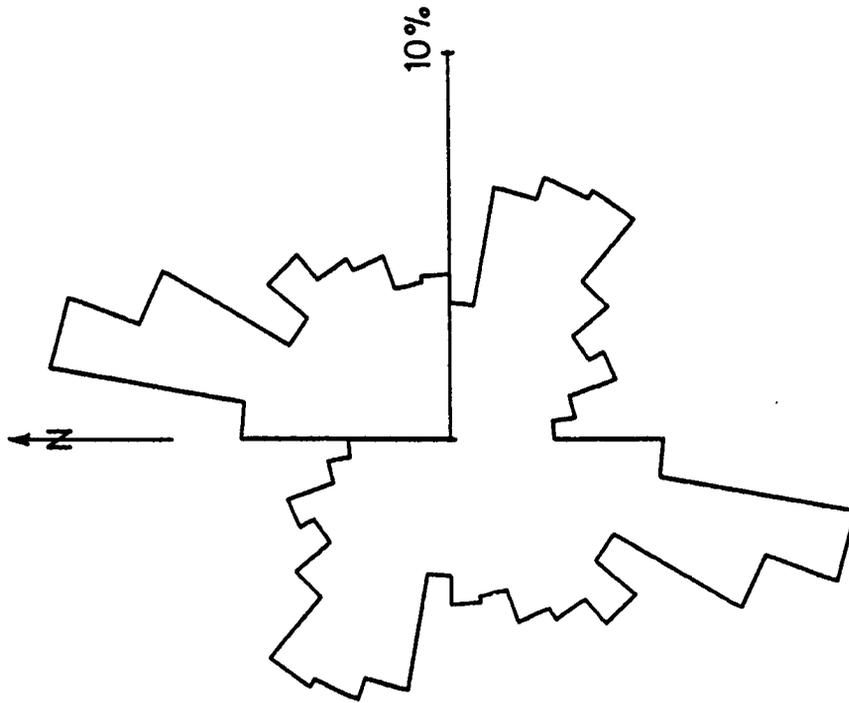
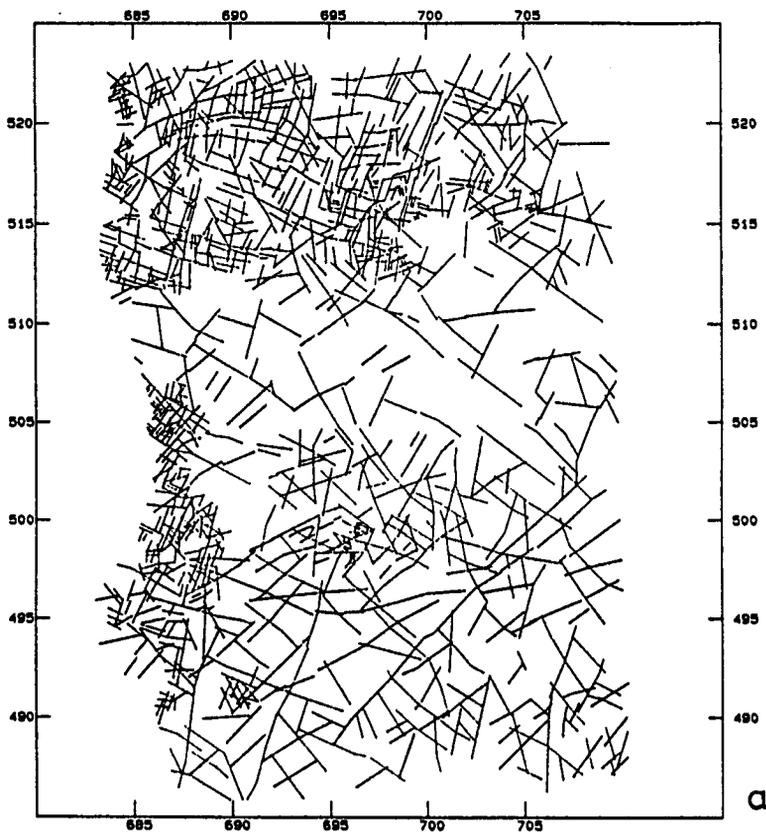


FIG. 2.9- ROSE DIAGRAM OF LINEAMENTS FROM AIR PHOTOGRAPHS.



Smoothed density map

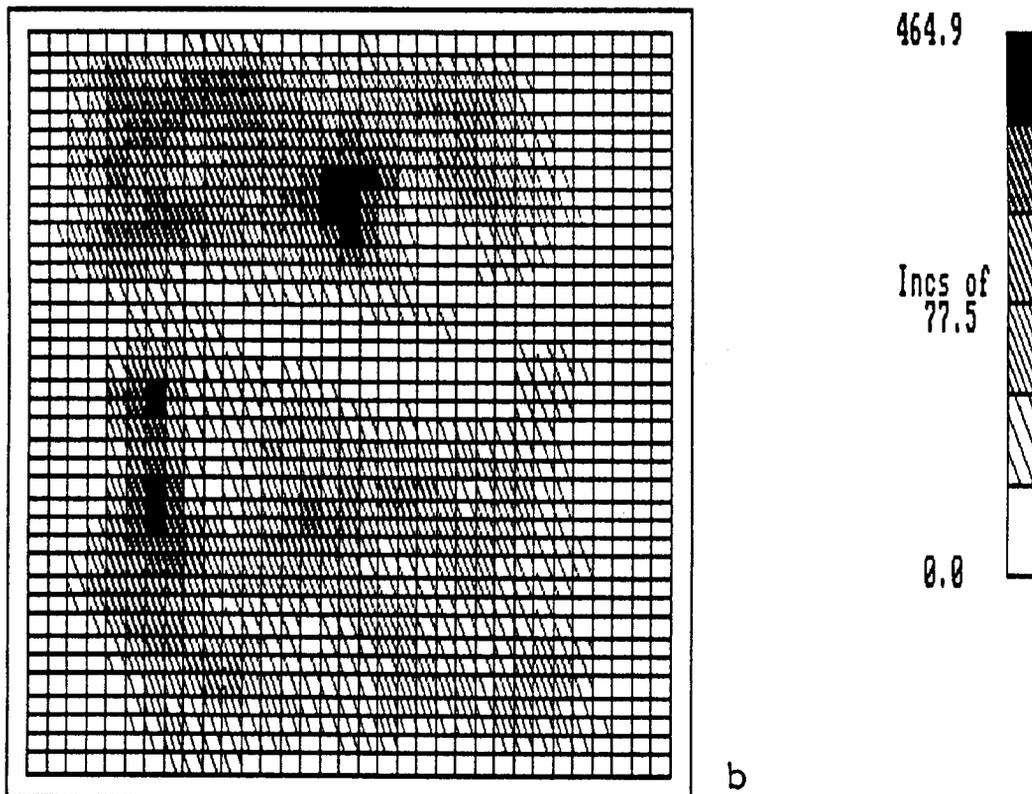
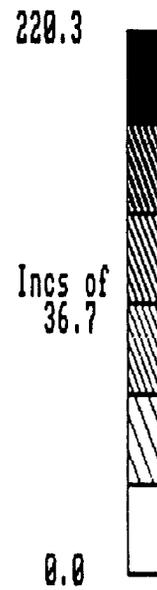
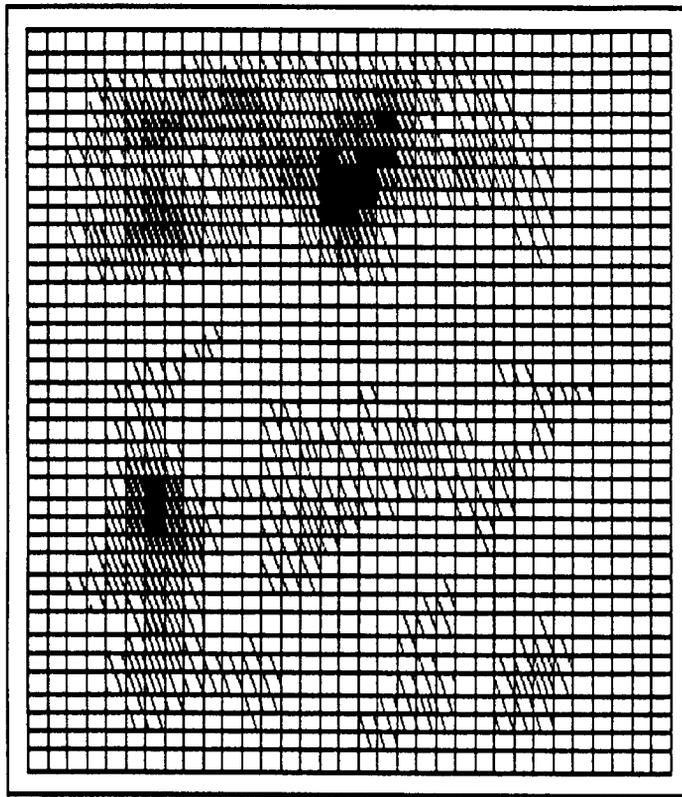


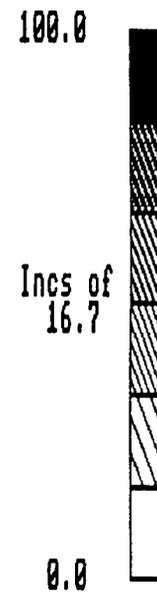
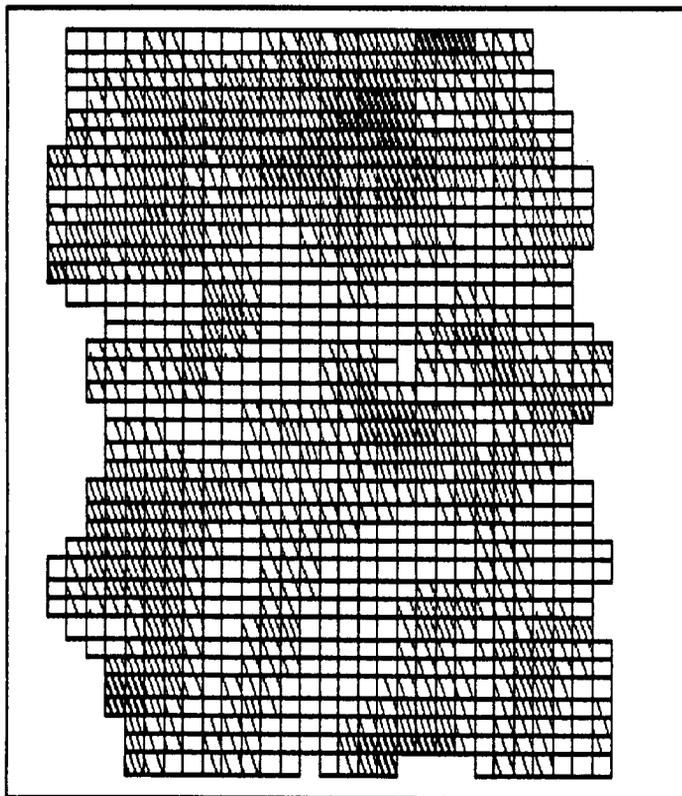
FIG. 2.10- (TOP) SMALL MAP OF AIR PHOTOGRAPH LINEAMENTS TO WHICH ALL SUBSEQUENT COMPUTER DRAWN FIGURES RELATE; (BOTTOM) AIR PHOTOGRAPH LINEAMENT DENSITY ($Km^{-1} \times 100$); DATA SAMPLED OVER 3X3 KM MOVING AVERAGE GRID.

Smoothed directional density map 175 - 35



a

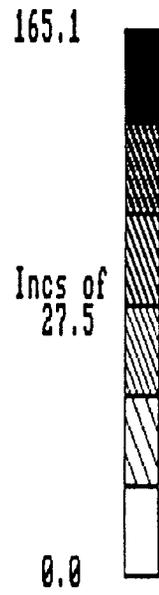
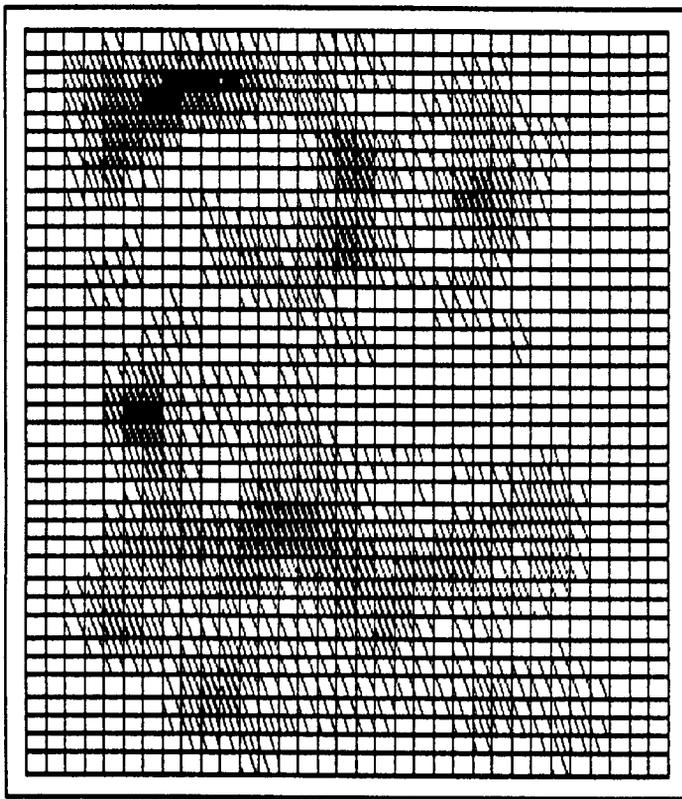
Smoothed Dominance Map 175 - 35



b

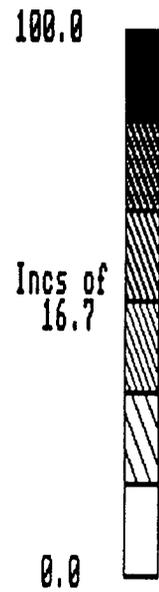
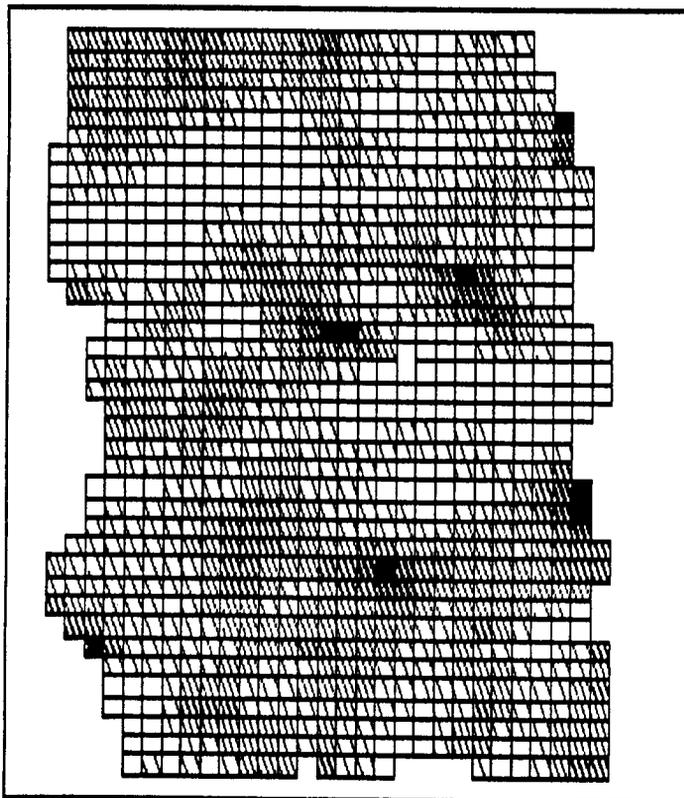
FIG. 2.11- DIRECTIONAL DENSITY (TOP) AND DOMINANCE (BOTTOM) OF NNE-SSW (175-035°) AIR PHOTOGRAPH LINEAMENTS.

Smoothed directional density map 35 - 95



a

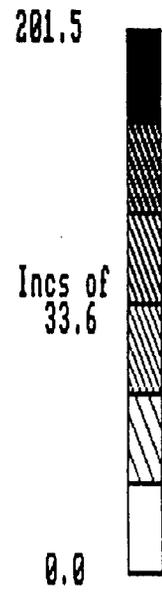
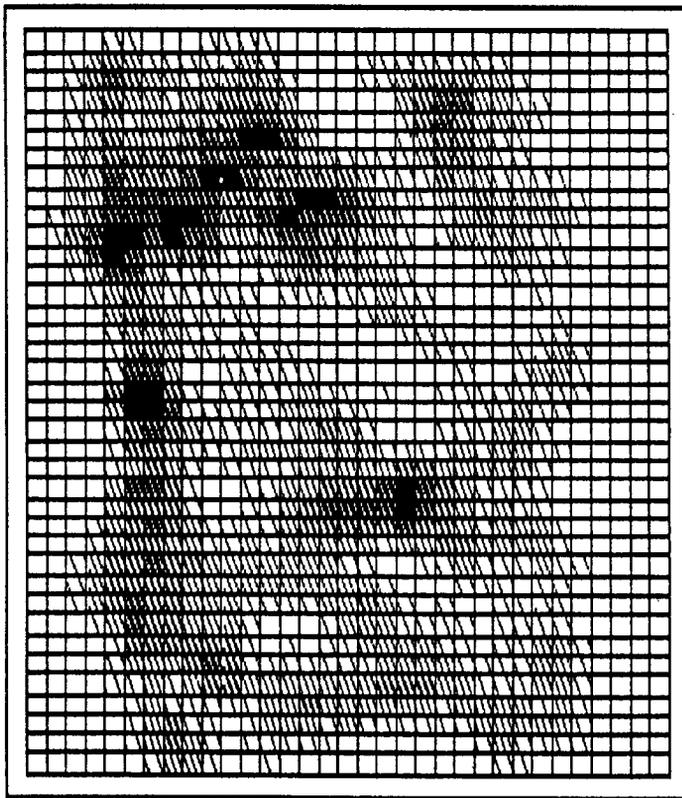
Smoothed Dominance Map 35 - 95



b

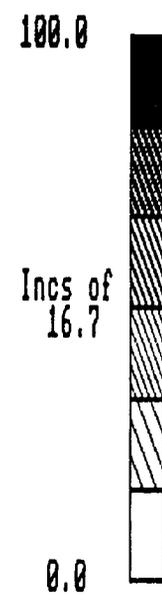
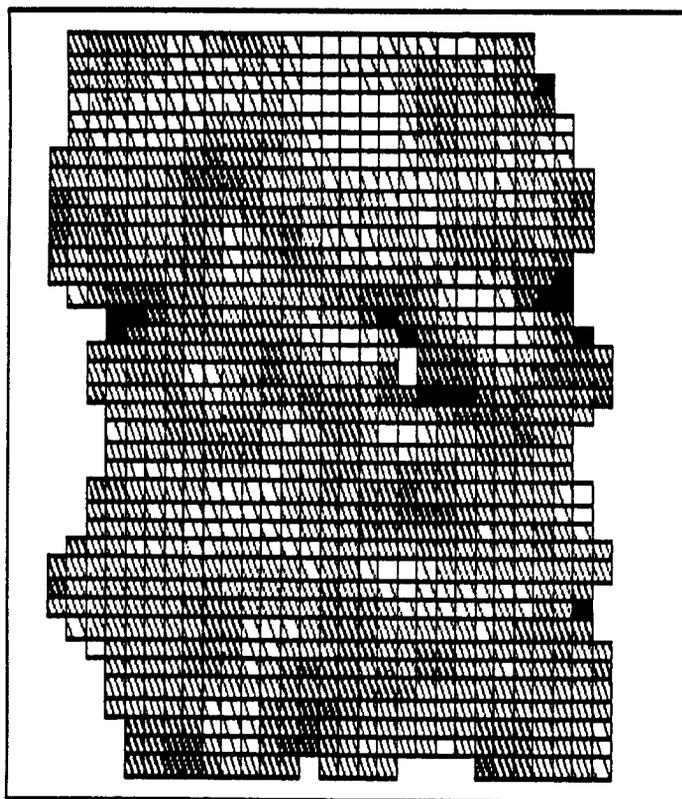
FIG. 2.12- DIRECTIONAL DENSITY (TOP) AND DOMINANCE (BOTTOM) OF NE-SW (035-095°) AIR PHOTOGRAPH LINEAMENTS.

Smoothed directional density map 95 - 175



a

Smoothed Dominance Map 95 - 175



b

FIG. 2.13- DIRECTIONAL DENSITY (TOP) AND DOMINANCE (BOTTOM) OF NW-SE (095-175°) AIR PHOTOGRAPH LINEAMENTS.

photograph lineaments is that there are significantly fewer WNW-ESE lineaments in the TM data. These lineaments are well developed in the granite, generally as relatively short lineaments in the air photograph data and may be too narrow to be sampled by the coarser resolution of TM. A very similar situation regarding lineaments of the same trend was found in the Alburquerque batholith (see Gumiel, 1990, chapter 10).

2.6 - FAULT ANALYSIS IN THE MINA FE MINE.

Faults were measured at Mina Fe and compared with mapping by ENUSA during the exploitation of the mine (Fig. 2.14) and may be divided into four sets (Table 2.3, Fig. 2.14).

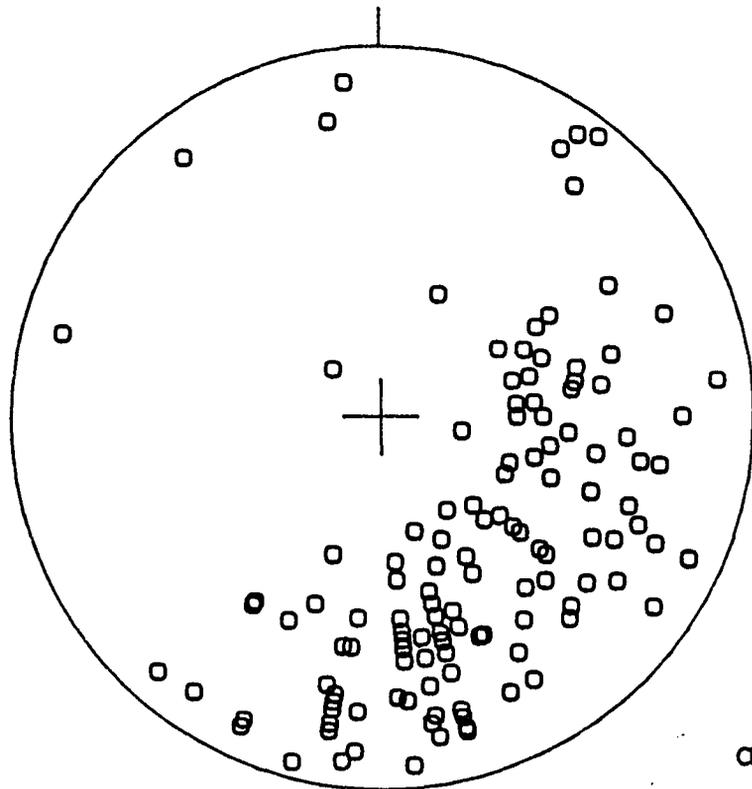
Table 2.3 Summary of the fault sets sampled in ground surveys in the Mina Fe mine.

Set	Mode	Range	Comments
ENE-WSW	080°	060-080°	normal/left-lateral
N-S	3 sets; 170° 020° 045°	150-050°	normal/right-lateral normal normal
NW-SE	125°	110-140°	local secondary set

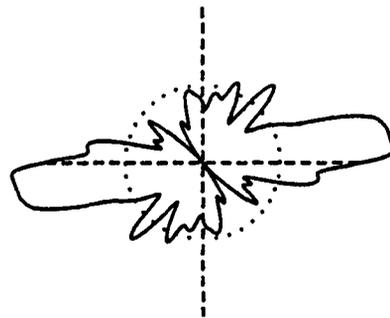
Most of the fractures measured on the ground at Mina Fe were extension and strike slip faults. Their strikes generally lie in the NE-SW quadrants, as do the remotely sensed lineaments, but their modal trend is more ENE-WSW.

The fault pattern is unusual in that nearly all faults dip to the north or west (Fig. 2.14a), ie. they do not occur in conjugate sets. This suggests that they may produce rotation of the rock mass (cf. domino faulting). Many of the faults clearly show more than one phase of movement and palaeostress analysis confirms that the movements must be attributed to at least two, possibly three, stress systems. Preliminary results suggest that the ENE-WSW faults are the earlier and were produced by NNW-SSE extension (normal faulting). Some N-S normal faults may then have formed by approximately E-W. A later phase of NE-SW compression reactivated these earlier faults producing left and right lateral movement, respectively, and new NE-SW extension faults may have formed at this time.

The good correspondence between the orientations of fractures and the mapped and remotely sensed lineaments is



n = 138 Faults - Mina Fe



Faults - Mina Fe
N = 138,

FIG. 2.14- STEREOGRAM (A) AND ROSE DIAGRAM (B) OF FAULTS AT MINA FE.

apparent by comparing Tables 2.1, 2.2 & 2.3; this strongly supports a link between the features. In studies of this sort one generally finds a good correspondence between the orientations of these data, but with differences in the relative proportions of the different sets exist. This can arise through the inclusion of other features, such as bedding traces, in the lineament data, but this does not appear to be the main cause of the variation in the current study.

2.7 - USE OF LINEAMENT MAPS AS AN AID TO MINERAL EXPLORATION

In this section we will discuss the lineament data in relation to the general structural setting of the Mina Fe area and its mineralization. Using the Landsat data, combined with the ground structure and air photograph interpretation a clear picture of the fracture system has emerged. Three major sets of lineaments trend NNE-SSE, NE-SW and NW-SE (Fig. 2.1) and they correlate well with known fault trends and quartz veins, including those at the Fe mine. There is excellent agreement in the location of lineaments mapped independently from Landsat and aerial photographs. There is, however, little regional organization of the lineaments, with only two general features:

1) Higher densities of all lineaments occur in the granites; this is seen from both the TM imagery and aerial photographs;

2) Some of the NE-SW lineaments are arranged in zones or swarms of sub-parallel lineaments in both the granites and country rocks.

In order to convert these data into viable exploration models it is necessary to understand and relate the nature and kinematics of the fracture control to the mineralization. Only then can full use be made of the mapping available from Landsat imagery, through the lineament map its self and the maps of density and dominance, as a basis for the definition of exploration targets.

2.7.1 - Uranium mineralization.

The uranium mineralization at Mina Fe occurs in association with small faults in dark (graphitic) slates in the CEG. The mineralization mainly consists of secondary mobilization of U-bearing fluids along extensional and strike-slip faults.

The U anomalies from airborne radiometry show a patchy distribution, but with some anomalies being elongate along NE-SW trends, notably that associated with Mina Fe and the one trending SW from Villar de la Yegua to the Portuguese border. Clearly this trend is interesting as it represents

one of the main lineament trends, but it has not been possible to link all these anomalies to individual lineaments. Thus we regard the mapping of NE-SW lineament swarms as a useful, rather than definitive, prospecting tool.

In view of the situation at Mina Fe it seems most likely that the uranium mineralization utilizes minor extensional fractures, and that these in turn may be localized on large structures, possibly related to sub-surface intrusions. Thus areas of high lineament density may provide additional definition of exploration targets.

2.8 - CONCLUSIONS

This study has demonstrated that remotely sensed data from Landsat TM and air photography can be used map the fracture pattern in the Mina Fe area. These fractures exert a structural control on the mineralization, as at Mina Fe itself where mineralization occurs along small faults. The kinematics of these structures involves reactivation under at least two different stress systems, but uranium mineralization can not be linked to particular phases of movement. Thus mapping of lineaments from Landsat, may be of use in following out local anomalies.

Zones of swarming of NE-SW lineaments provide some useful data on the location of prospective areas, especially if accompanied by high fracture density. Given the small scale of some local anomalies, it may be that air photography provides a more suitable tool for this sort of exploration.

To develop structural models further would require detailed integration of field based and remote sensing work in the following manner. Firstly, it is necessary to establish local uranium anomalies and link these to particular faults. Then these could be linked to particular lineaments based on their directional, spatial and temporal relationships. Once this is established the Landsat imagery and air photographs may be used to map specific lineaments or zones of a particular pattern of lineaments. Only when the kinematics of these structures are understood can models be developed which relate the structural control of the various types of mineralization to specific locations, providing exploration targets.

REFERENCES

Gumiel, P. 1990. (editor) Final Report of the La Codosera area.

Sanderson, D.J. & Dolan, J.M. 1986. Structural and statistical analysis of lineament patterns as a guide to exploration. In: First European Workshop on Remote Sensing in Mineral Exploration (edited by Van Wambeke, L). EEC Publication EUR 10511 EN-FR, 9-33.

Sanderson, D.J. 1988. Remote sensing and the structural control of mineralization in the eastern Rhodope Massif, northern Greece. In: Second European Workshop on Remote Sensing in Mineral Exploration (edited by Van Wambeke, L). EEC Publication EUR 11317 EN-FR, 345-367.

3. ESPECTROMETRIA GAMMA Y MAGNETOMETRIA AEROPORTADAS; CAMPAÑA REGIONAL (Javier Arnaiz de Guezala, ENUSA)

3.1. Introducción

Entre los años 78-81 JEN-ENUSA realizó una serie de vuelos espectrométricos y magnetométricos cubriendo todo el oeste peninsular entre el Guadalquivir y el norte de Zamora.

El límite este de la zona cubierta es la línea Ciudad Real-Toledo y oeste la frontera con Portugal, también se cubrió parte del Macizo Central, y buena parte del Sistema Ibérico.

Estos vuelos han demostrado ser una herramienta de gran utilidad tanto para prospección radiométrica regional como para estudios estructurales, litológicos e incluso proporcionando información comparable a geoquímicas de rocas. Actualmente están siendo extensivamente utilizados tanto en universidades (tesis doctorales y de licenciatura, trabajos varios) como en empresas privadas y organizaciones estatales; ITGE (Instituto Tecnológico Geomínero), ENRESA (Empresa Nacional de Residuos), MAYASA (Minas de Almadén), PRESUR, ENADIMSA, etc.

En el presente proyecto se ha incluido este método por proporcionar el canal de TC y U una buena información regional sobre las mineralizaciones del C.E.G. y la magnetometría datos estructurales de carácter regional. Los canales de Th y K de interpretación más delicada en el C.E.G. son sin embargo muy útiles en los granitos a la hora de caracterizar las distintas facies así como zonas de potencial metalogénico. Esta última aplicación está fuera de este estudio al no entrar los granitos en el proyecto actual.

3.2. Características del vuelo

El vuelo sobre el área de Mina FE, se realizó en 1980.

El sistema consistió en un espectrómetro con cristal detector de INa(Tl) con un volumen total de 1.885 pulgadas cúbicas, más otro detector apantallado para medir la radiación atmosférica procedente del Bi 214. Para la magnetometría se utilizó un magnetómetro de precesión protónica con resolución de 0,25 gammas, remolcado a final de un cable de 100 m. Un segundo magnetómetro situado en tierra para medir los cambios diurnos del campo magnético terrestre. La navegación se llevó a cabo por medio de un registro fotográfico (película de 35 mm) continuo y por medida de latitud y longitud cada segundo por medio de un "Global Navigation System".

La altitud de vuelo fue de 120 m sobre la superficie, la velocidad de 1.221 millas/h y el espaciado entre líneas de vuelo de 1 km.

Los datos se graban en cinta magnética con registro de número línea, dirección, fecha, latitud, longitud, altitud, presión, temperatura, campo magnético residual (nT), cuenta total, es equivalente en potasio (% x 1.000), equivalente en uranio (ppm x 1.000) y equivalente en Th (ppm x 1.000).

En el procesado de datos se corrige (Stripping) el efecto del espectro de emisión de las cuatro fuentes principales de radiación

gamma (U, Th, K y radiación cósmica) entre sí (fig. 3.1.), se elimina la radiación cósmica del Bi atmosférico y el fondo. Estos datos se corrigen para una altura de vuelo constante de 120 m.

El campo magnético se corrige por variación diurna, efecto del avión y equipo empleado. Estos datos se corrigen a su vez por el "International Geomagnetic Reference Field" para obtener el campo magnético residual.

3.3. Interpretación

3.3.1. Espectrometría gamma

Canal del Uranio

En la fig. 3.2. se proporciona un tratamiento de los datos procedentes del canal del U con la geología a la misma escala.

En esta figura se pueden en primer lugar distinguir los fondos altos de los granitos ($U_e > 6$ ppm), frente a fondos de $U_e < 6$ en Terciario y metamórfico. Destacan también con valores de $U_e > 10$ fondos altos en los granitos y las alineaciones de indicios radioactivos en el C.E.G., ya mencionados en el apartado 1.6. y correspondientes a los relacionados con las fallas de Barquilla, al contacto granito-pizarra de Alameda y los correspondientes a las fallas Grafitosa y Tejoneras. Las anomalías radioactivas en pizarras quedan bien definidas utilizando este contorno de 10 ppm de U_e .

Canal del Th

La fig. 3.3. corresponde a un contorneo del canal del Th. En una primera apreciación se puede observar una distribución similar a la del canal del U. Los valores altos de Th corresponden a los granitos ($Th_e > 10$ ppm) y zonas anómalas en U_e . Las pizarras del C.E.G. tienen fondos de 6-10 ppm mientras que el Terciario tiene fondos de $Th_e < 6$ ppm. Como nueva información, aparece otra zona de fondos altos ($Th_e > 10$) que corresponde a las cuarcitas ordovícicas, probablemente por contener minerales primarios resistentes durante la erosión y transporte, como circones y monacitas.

Otra zona de fondos altos ($Th_e > 10$) corresponde a el tramo más detrítico del C.E.G. como es el T-5, compuesto por filitas cuarzosericíticas con niveles cuarzofeldespáticos y conglomerados subarcósicos, estas rocas tienen también minerales resistentes tipo circón (visto al microscopio).

Las zonas de indicios uraníferos aparecen marcadas, en general por contenidos relativamente altos en Th especialmente FE, D, M, Carpio, Esperanza y Alameda con contenidos > 10 ppm (> 16 ppm en FE). Estos fondos altos, que no son fácilmente atribuibles a aportes de Th con la mineralización, podrían ser debidos a problemas en el Stripping del efecto del canal del U sobre el del Th.

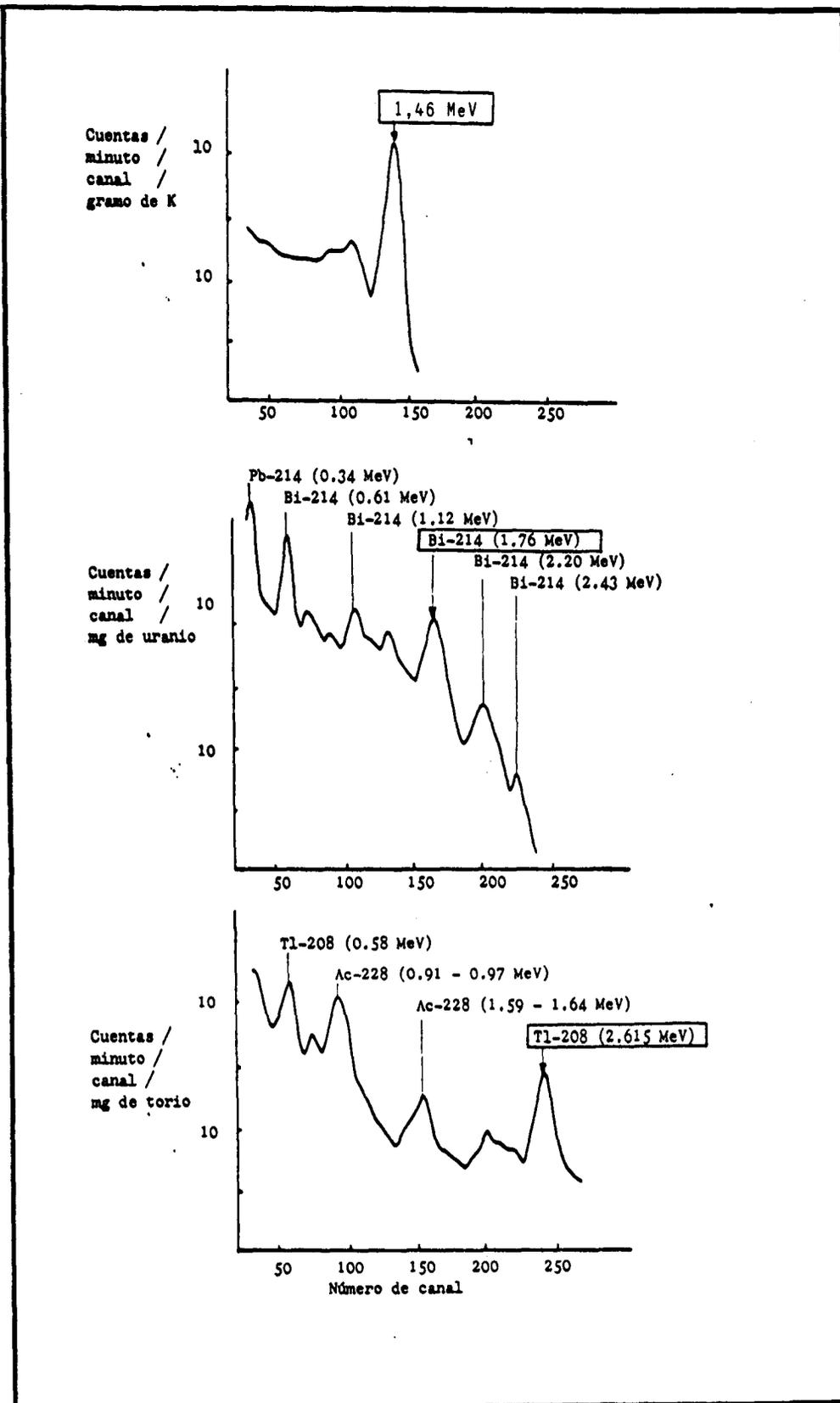


FIGURA 3.1 .- Espectro gamma normalizado del Uranio 238, Torio 232 y Potasio 40 en equilibrio secular (Muestra patrón de 7 cm de diámetro por 4 de altura, cristal de 15 cm de diámetro por 10 de alto. Según L. Lovborg, - 1.972).

Se indica con recuadro los fotopicos utilizados para la estimación de contenidos en estos elementos.

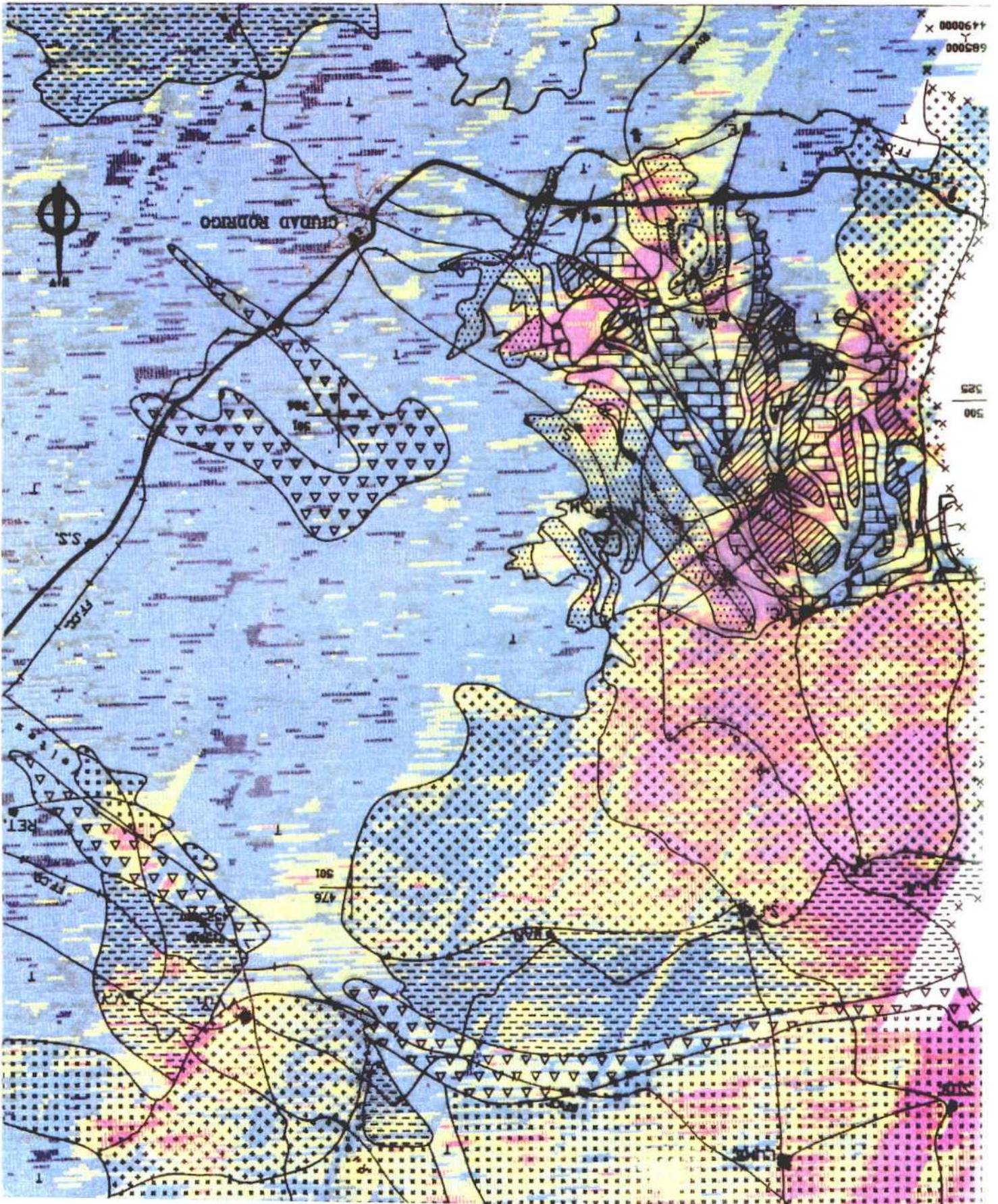
FIGURA 3.1- ESPECTROS GAMMA NORMALIZADOS DEL URANIO 238, TORIO 232 Y POTASIO 40.

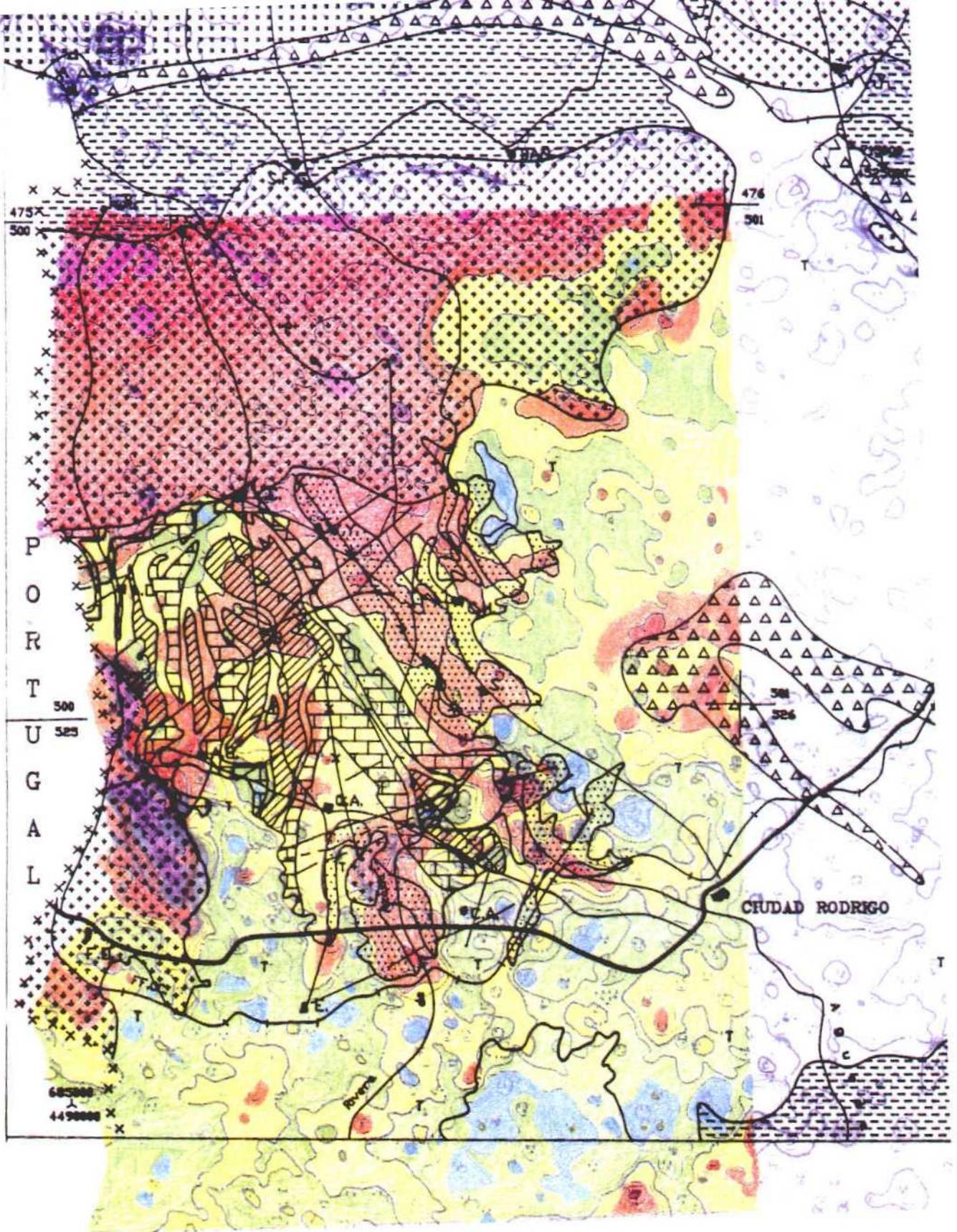
(1: (ppm x 1000)



200000 150000 100000 50000 0 50000 100000 150000 200000

ESPECTROMETRIA AEREA - URANIO





ESPECTROMETRIA AEREA -- TORIO

Fig 3.3

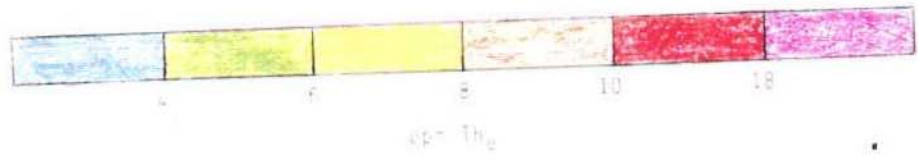


FIGURA 3.3- ESPECTROMETRIA AEREA - TORIO e.-

Canal del K

Un contorno similar de los valores de K se dá en la fig. 3.4.

En esta figura se pueden distinguir fondos altos ($K_e > 2$) correspondientes al granito y las facies de abanicos graníticos terciarios con área de aporte al sur. Con fondos de 1,6 a 2 % de K_e destacan claramente los tramos T-4 y T-5 correspondientes a niveles cuarzofeldespáticos y de conglomerados arcósicos, el resto de los tramos del C.E.G. tienen fondos menor que 1,6 %. El Ordovícico se diferencia por valores bajos ($K_e < 1$) respecto al resto.

Se observan valores altos ($K_e > 2$) coincidentes con zonas de incidios radioactivos como son FE, M, Carpio y Alameda, que habría que descartar sean debidos a problemas con el stripping en zonas con U_e alto.

En algún caso hay coincidencia de zonas relativamente altas en K con ejes de 2ª fase (F_3 hercínica) como al oeste de Saelices y Barquilla y en FE.

3.3.2. Magnetometría

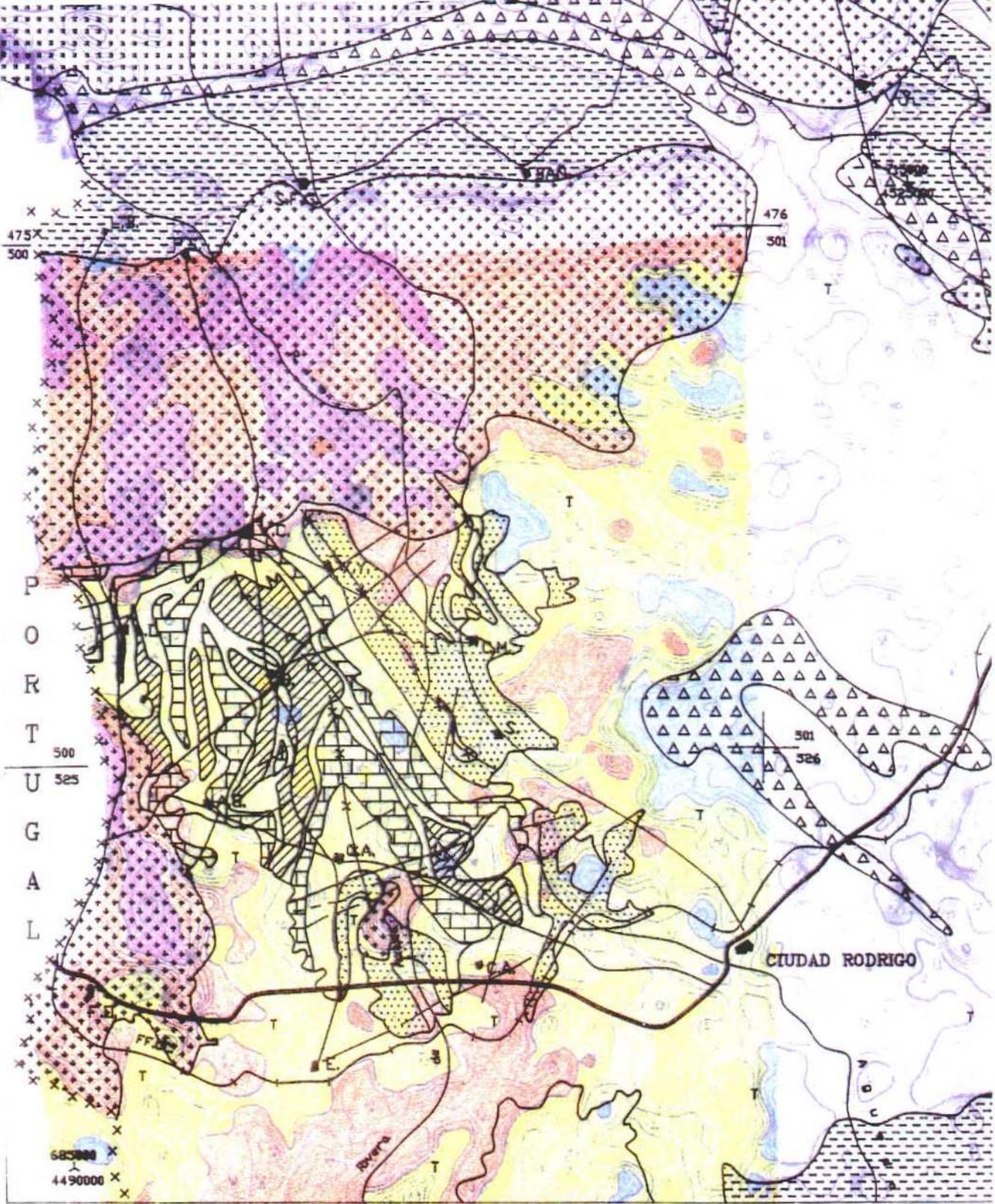
En la fig. 3.5. se proporciona un tratamiento del campo magnético total y en la fig. 3.6. del gradiente magnético vertical.

Como características a destacar sería la diferencia de comportamiento del granito respecto a la pizarra y Terciario. Los contactos granito-pizarra en el campo total son netos únicamente cuando tienen direcciones de componente norte siguiéndose incluso bajo Terciario. Los granitos se distinguen en el gradiente por ser estos uniformes con medias de 0,2 a 0,4 n T/m correspondientes a un modelo de isolíneas abiertas en el campo total mientras que en las pizarras y Terciario los gradientes son variables (isolíneas cerradas en el campo total).

El modelo magnético en pizarras y Terciario es similar, correspondiente a isolíneas cerradas con frecuentes cambios de dirección dominando las direcciones NE y SE. Es un modelo típico de interferencia de diferentes estructuras magnéticas, que refleja aún bajo terciario las características del C.E.G.

Este modelo se puede observar por la interrupción de las estructuras magnéticas NW-SE correspondientes a cambios litológicos por estructuras de dirección NE-SW correspondientes a fracturación (bandas de fractura de Barquilla y Espeja-Carpio, y en menos medida en la Grafitosa).

Se puede diferenciar también el tramo T-5 del núcleo del sinclinal de Villar de la Yegua por un mínimo relativo en el campo total, así como la curvatura de la parte norte del sinclinal de Gallegos de Argañán con máximos relativos.



ESPECTROMETRIA AEREA POTASIO

Fig 3.4

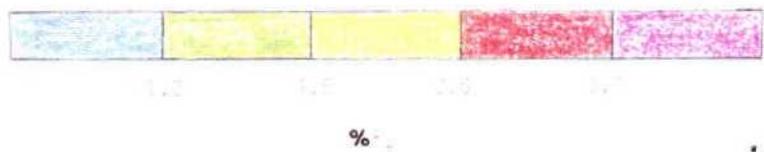


FIGURA 3.4- ESPECTROMETRIA AEREA - POTASIO e. -

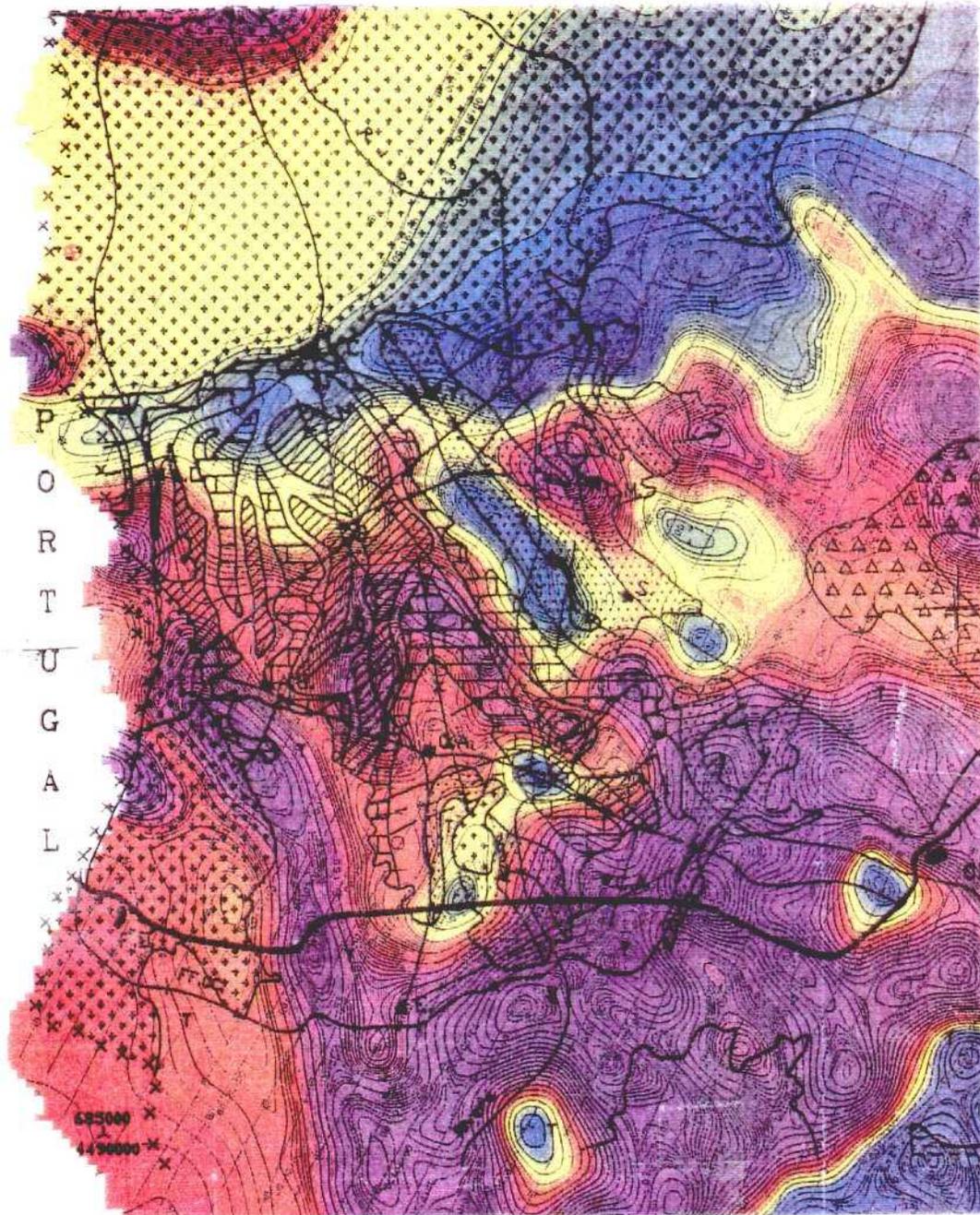


FIGURA 3.5- ESPECTROMETRIA AEREA - CAMPO MAGNETICO TOTAL.

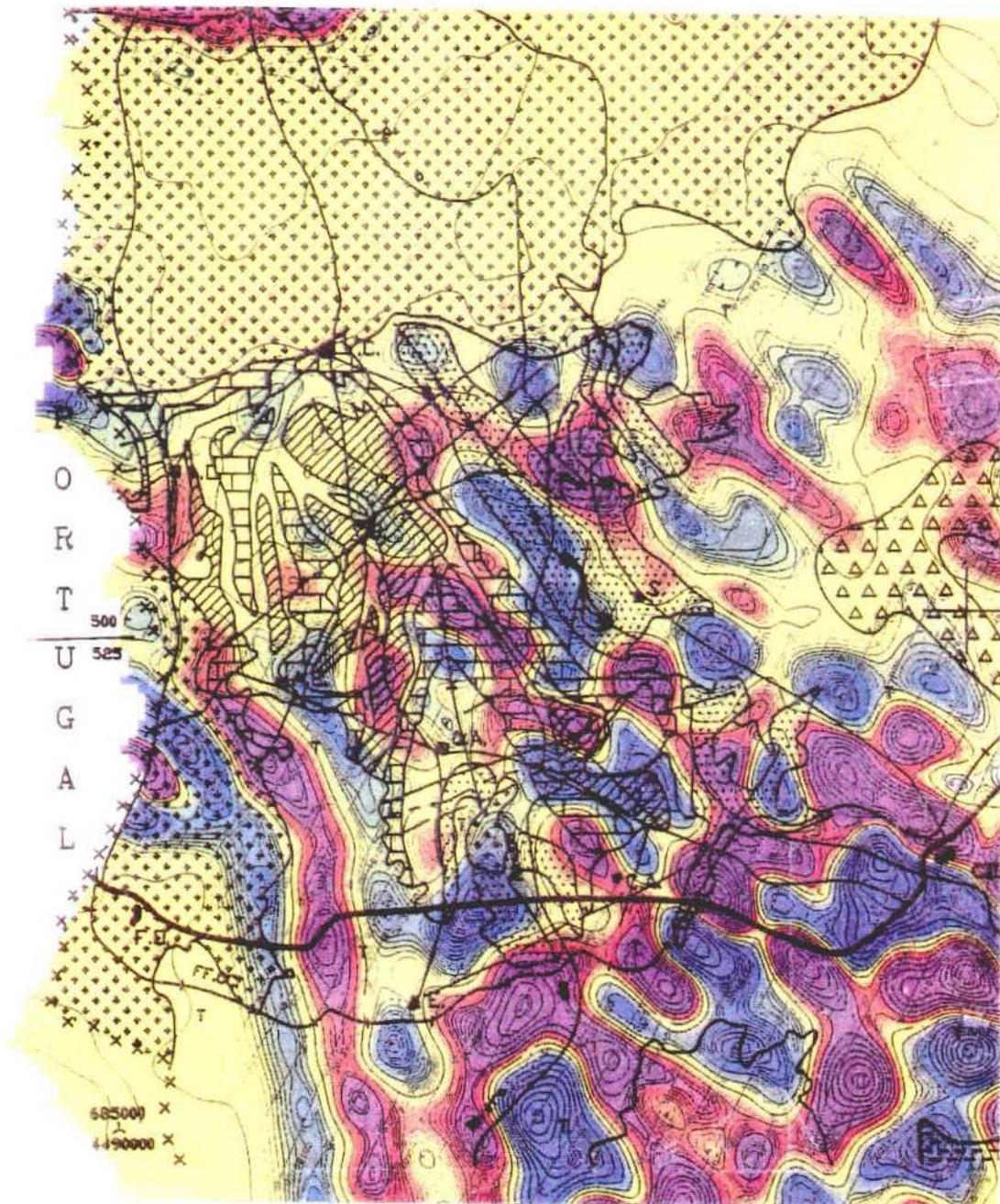


FIGURA 3.6- ESPECTROMETRIA AEREA - GRADIENTE MAGNETICO VERTICAL.

3.4. Conclusiones

Litología

En cuanto a la diferenciación de las distintas unidades litológicas es clara la del granito con el metamórfico y Terciario en todos los canales, el Ordovícico-Silúrico se distingue en los canales del Th (alto) y K (bajo).

La diferenciación entre el metamórfico y el Terciario, se consigue únicamente en el canal del Th, con $Th \leq 6$ para el terciario.

Dentro del metamórfico se consiguen diferenciar por medio del Th el tramo T-5 del C.E.G., detrítico (Th alto) y las cuarcitas ordovícicas (Th alto) y en el canal del K el tramo T-5 del C.E.G. con contenidos altos en feldespatos (K alto) y el Ordovícico-Silúrico con K bajo.

Dentro del Terciario se pueden distinguir abanicos aluviales de distintas características utilizando los canales del Th y K, asimismo con estos canales sería posible distinguir facies dentro de los granitos.

Fracturación

Las bandas de fractura se reflejan en los canales del U, Th y de magnetismo, así como el contacto granito-pizarra fracturado de Alameda por medio del campo total y gradiente magnéticos.

Mineralizaciones

Las mineralizaciones de uranio están prácticamente todas localizadas en el canal del U y con menos definición en el del Th.

En el canal del K aparecen altos relativos en los yacimientos FE, M, Carpio y Alameda así como en zonas afectadas por la segunda fase que habría que explicar (posible efecto de metamorfismo?).

REFERENCIAS

Proyecto AR-1/80, Investigación aeroradiométrica, Junta de Energía Nuclear, PNEIU. Interpretación General Vol. I y II. Geodata International. Informe interior ENUSA.

CAPITULO - 4 - CONSIDERACIONES SOBRE LA CINEMATICA DE LAS PRINCIPALES FRACTURAS DE LA MINA FE (CIUDAD RODRIGO).

Pablo Gumiel (ITGE).

En base a las observaciones de campo y a la toma de datos de estrías en 40 fracturas de la Mina Fe (Fig. 4.1), se han obtenido las siguientes consideraciones.

Se han medido 40 fracturas que se han representado en un diagrama en rosa (Fig. 4.1) del que se deduce que las principales familias de fracturas son las N70-80°E, N90°E, N110°E, N140°E, N160°E y N30-40°E, existiendo, por tanto, un amplio rango de direcciones, de forma que, se puede considerar que el área de mina Fe es una zona de intensa deformación frágil (fracturación), irregularmente distribuida.

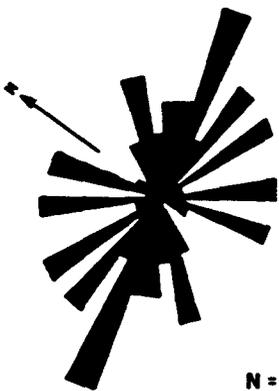
Las fracturas de dirección N70-80°E son las más importantes y sus representantes principales son la "falla Grafitosa", la de "Carpio-Espeja", y la de "Barquilla", esta última con una dirección NE-SW. Estas fallas estructuran la zona en bloques de dirección aproximada WSW-ENE (Fig.4.2). Su importancia desde el punto de vista cinemático es que muestran reactivaciones, reconociéndose, al menos, dos movimientos principales. Desde el punto de vista metalogénico, pueden representar vías de emplazamiento y favorecer la precipitación de los fluidos mineralizadores (ver Cap. 9).

Del diagrama general de contornos (Fig.4.3A) se observa una fuerte dispersión de direcciones de fractura, dando una distribución prácticamente no ordenada (random), como se pone de manifiesto por los bajos valores (menores que 1) de $r_1=LN (E_1/E_2)$ y $r_2=LN (E_2/E_3)$, -Fig.4.3B-.

Las fracturas, en la corta, comprenden desde fallas de bajo ángulo (thrust-faults) de carácter compresivo y de dirección N70-80°E buzando 30° y 40°N, hasta fallas de fuerte ángulo (80° a vertical) y de carácter extensivo.

La mayoría son fallas de extensión (Figs.4.4A y B), aunque pueden también actuar con una componente en dirección (strike-slip), debido a reactivaciones oblicuas. Por ejemplo, las N140°E (Fig.4.5) y las N70-80°E (Fig.4.6). Es frecuente que las fallas de extensión, tipo la "Grafitosa", actúen como fallas normales, (la "Grafitosa" hunde el bloque sur, deducido del estudio de las estrías), y posteriormente, actúan en "dirección" (strike-slip) debido a reactivaciones oblicuas (Figs. 4.6A y B). El sentido puede ser dextro o sinestro.

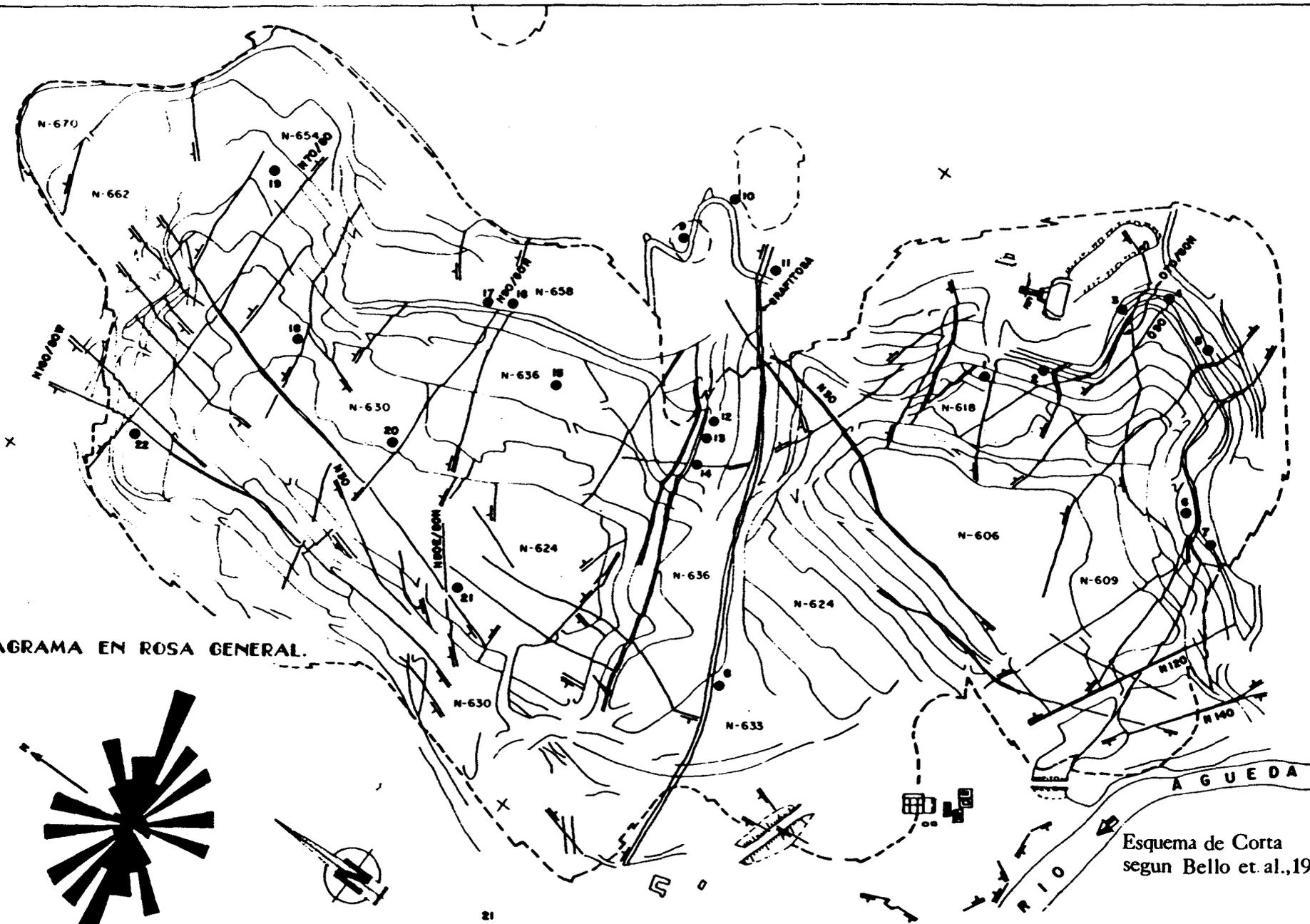
DIAGRAMA EN ROSA GENERAL.



● Estaciones de toma de datos

N=40

FIGURA 4.1- SITUACION DE ESTACIONES DE TOMA DE DATOS DE FRACTURAS MINA FE.



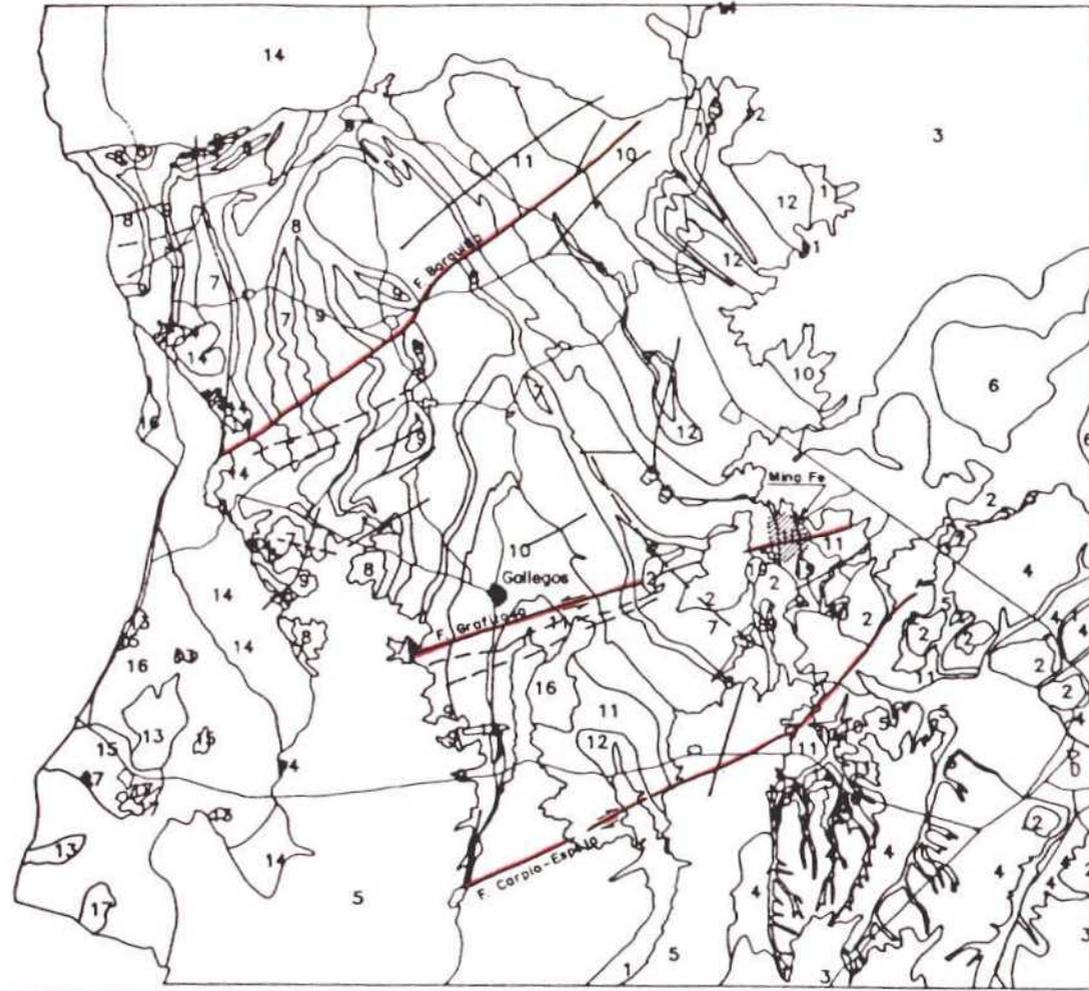
Esquema de Corta segun Bello et al.,1988

Area de Ciudad Rodrigo

I.T.G.E. - S.I.G.

LEYENDA

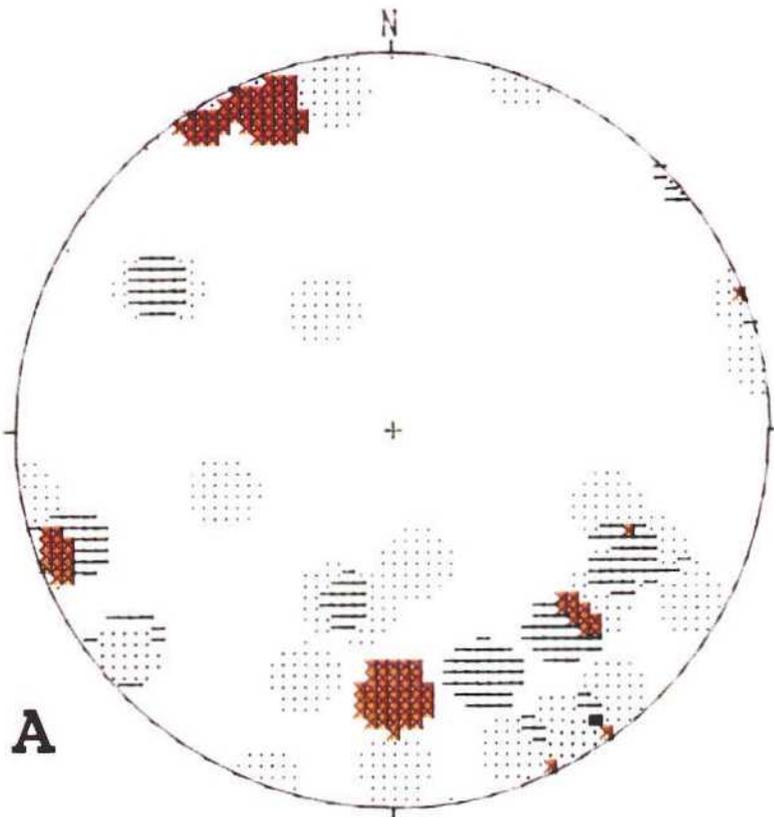
- 1: Areniscas indiferenciadas
- 2: Carbónicas
- 3: Areniscas mixtas
- 4: Areniscas de Ciudad Rodrigo
- 5: Areniscas graníticas
- 6: Cuarcitas masivas (Ordovicianas)
- 7: Filitas Q-Floas y cuarcitas (CBG)
- 8: Filitas sericiticas-ampelíticas
- 9: Alter. Cuarcitas-filitas y carbónicas
- 10: Filitas Q-Floas con ampelitas
- 11: Filitas Q-Sericíticas con microcong.
- 12: Filitas Q-Ampelíticas con cuarcitas
- BOCAS KINEAS**
- 13: Granito de grano fino de dos micas
- 14: Granitos y granodioritas peralíticos
- 15: Granito heterogeneo de dos micas
- 16: Granito homogéneo de dos micas
- 17: Leucogranitos con Biol. y Turm.
- 18: Molitas
- 19: Escudribreras



- Poblacion
- Carretera
- Falla
- Contacto

0 1 2 3 4 5 Km

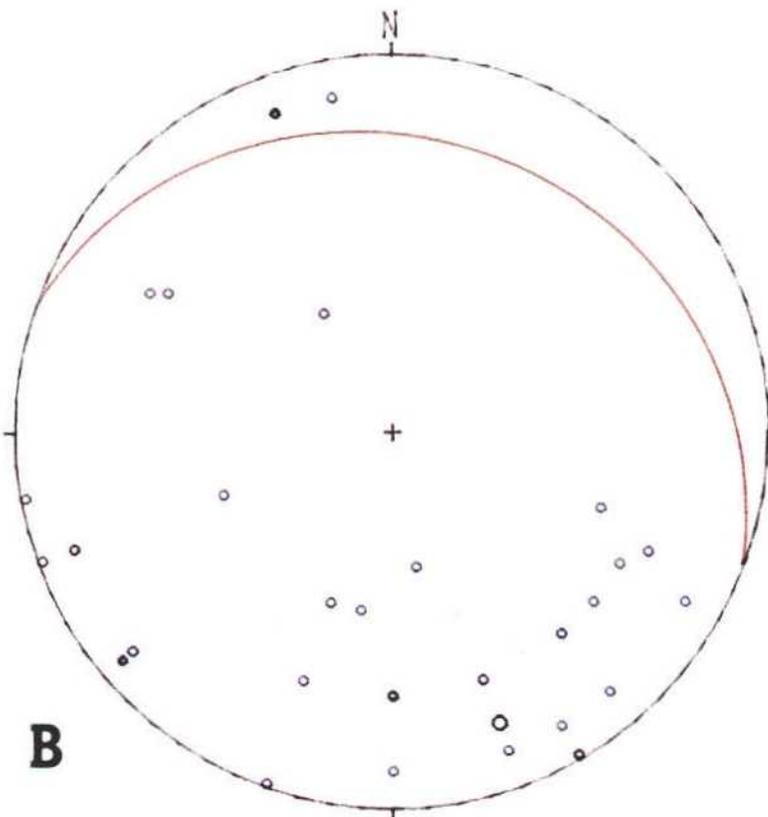
FIGURA 4.2 - ESTRUCTURACION DE LA ZONA EN BLOQUES, POR LAS FRACTURAS PRINCIPALES DE DIRECCION WSW-ENE, ALREDEDORES DE LA MINA FE.



FRACTURAS EN MINA "FE"
 Step Function Grid
 Number of Sample Points 40

	2.5 to 4.2 %
	4.2 to 5.8 %
	5.8 to 7.5 %
	7.5 to 9.2 %
	9.2 to 10.8 %
	10.8 to 12.5 %

A

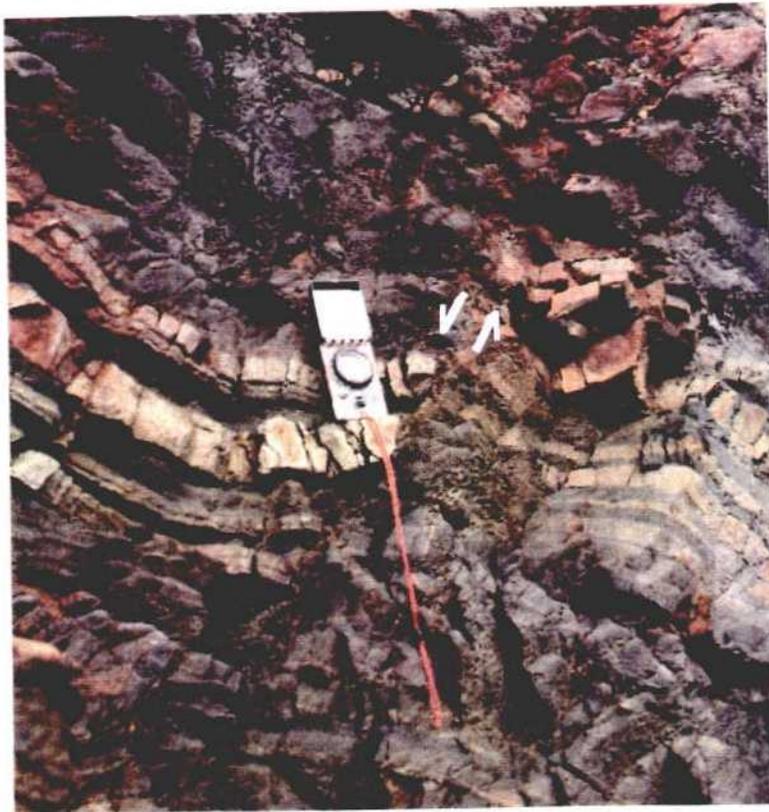


FRACTURAS EN MINA "FE"

Projection	Schmidt
Number of Sample Points	40
Mean Lineation Azimuth	159.8
Mean Lineation Plunge	18.0
Great Circle Azimuth	290.6
Great Circle Plunge	23.2
1st Eigenvalue	22.54
2nd Eigenvalue	12.36
3rd Eigenvalue	5.11
LN (E1 / E2)	0.601
LN (E2 / E3)	0.883
(LN(E1/E2)) / (LN(E2/E3)) ..	0.681
Spherical variance	0.4695
Rbar	0.5305

B

FIGURA 4.3 - DIAGRAMA GENERAL DE CONTORNOS Y ANALISIS EIGEN DE LAS FRACTURAS DE MINA FE.



A



B

FIGURA 4.4 - FALLAS DE EXTENSION, N 50 E/60 N (A) ESTACION 3 Y N90 E/60N (B) ESTACION 4, CORTA FE.

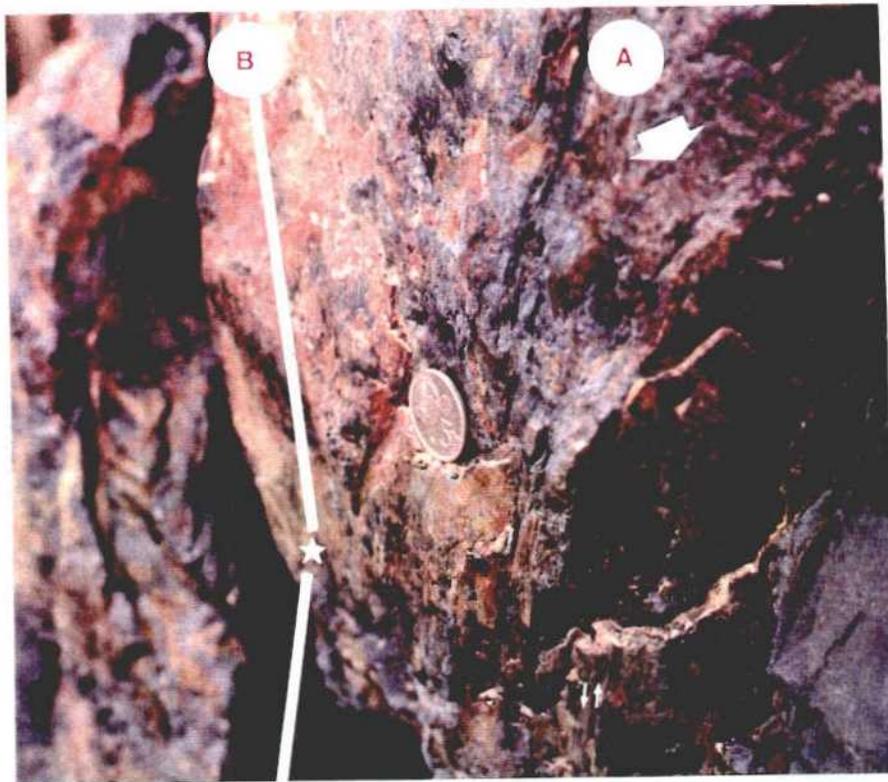
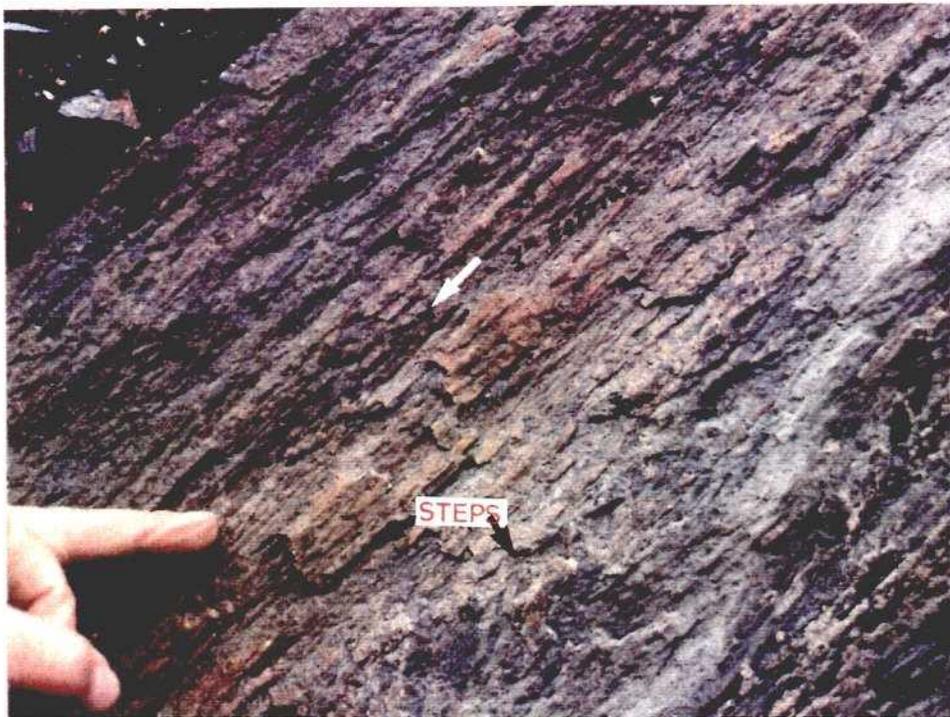
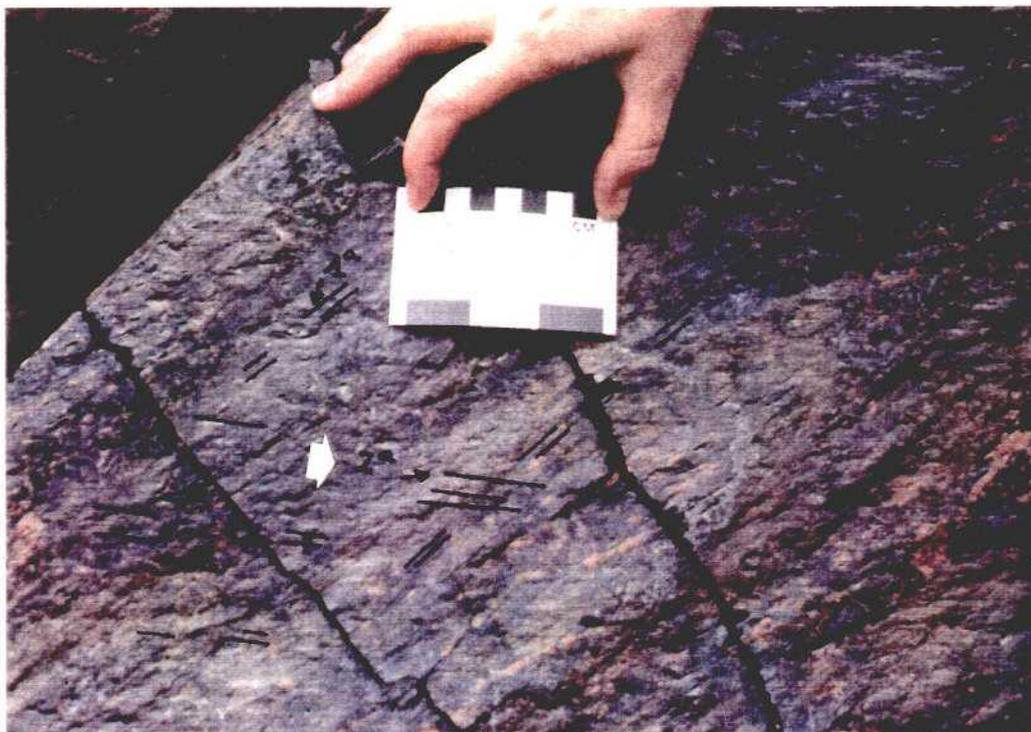


FIGURA 4.5 - CINEMATICA DE UNA FALLA N 140 E MEDIANTE ESTUDIO DE ESTRIAS. EN UNA PRIMERA ETAPA (A) LA FALLA ACTUA COMO DE EXTENSION Y EN UNA SEGUNDA (B), CON UNA COMPONENTE EN DIRECCION (STRIKE-SLIP) Y SENTIDO SINISTRAL, DEBIDO A UNA REACTIVACION OBLICUA.



A) PRIMERA GENERACION DE ESTRIAS (30-170), CON DESARROLLO DE ESCALONES (STEPS) Y "GROOVES" QUE INDICAN QUE LA FALLA ACTUA COMO FALLA NORMAL (BLOQUE SUR HACIA ABAJO).



B) SEGUNDA GENERACION DE ESTRIAS (20-170) REACTIVACION OBLICUA, MOVIMIENTO EN DIRECCION (STRIKE-SLIP) SINISTRAL DE LA FALLA.

FIGURA 4.6 - CINEMATICA DE LA FALLA GRAFITOSA (ESTACION B, MINA FE).

Las fallas de dirección N60-70°E son muy consistentes en la corta. Presentan relevos (off-sets) (Fig.4.7), generando zonas de dilatación, a veces rellenas de carbonatos (anqueritas, Fig.4.8) y con brechificaciones (Fig.4.9) debidas a los últimos movimientos, existiendo sucesivas etapas de reactivación. Estas etapas de reactivación pueden ser de gran importancia metalogénica por el volumen de fluidos que conllevan (ver Cap.9).

Se reconocen dos generaciones de venas de cuarzo. Unas tempranas, pre-esquistosas, y de dirección principal N110°E y N40°E. Suelen presentar boudinage (Fig.4.10) y son equivalentes a las V2 de Extremadura (Area de La Codosera). Las más tardías, post-esquistosas, son más northeadas (N10-20°E) y son correlacionables con las V3 de Extremadura. Hay venas de cuarzo con sulfuros según la dirección N30°E (Fig.4.11), y sulfuros en planos de falla N140°E reactivadas, que actúan con una componente en dirección.

Las fallas N30-40°E actúan en cizalla dúctil-frágil dextra y las N120°E actúan con sentido sinestral. Esto apunta a considerar un esfuerzo compresivo aproximadamente de dirección E-W, el cual actúa de forma prolongada en el tiempo, lo que está corroborado por las fracturas tardías conjugadas N60°E (dexas) y las N110°E (sinestras - Fig.4.12).



FIGURA 4.7 - ZONA DE DILATACION RELLENA CON CARBONATOS EN OFF-SET DEXTRO DE UNA FRACTURA N60 E. ESTACION 2, CORTA FE.



FIGURA 4.8 - DETALLE DE LOS CARBONATOS (ANQUERITA) DESARROLLADOS EN ZONA DE DILATACION.



FIGURA 4.9 - ETAPAS DE BRECHIFICACION Y REACTIVACIONES DE UNA FALLA N110 E. ESTACION 5, CORTA FE.

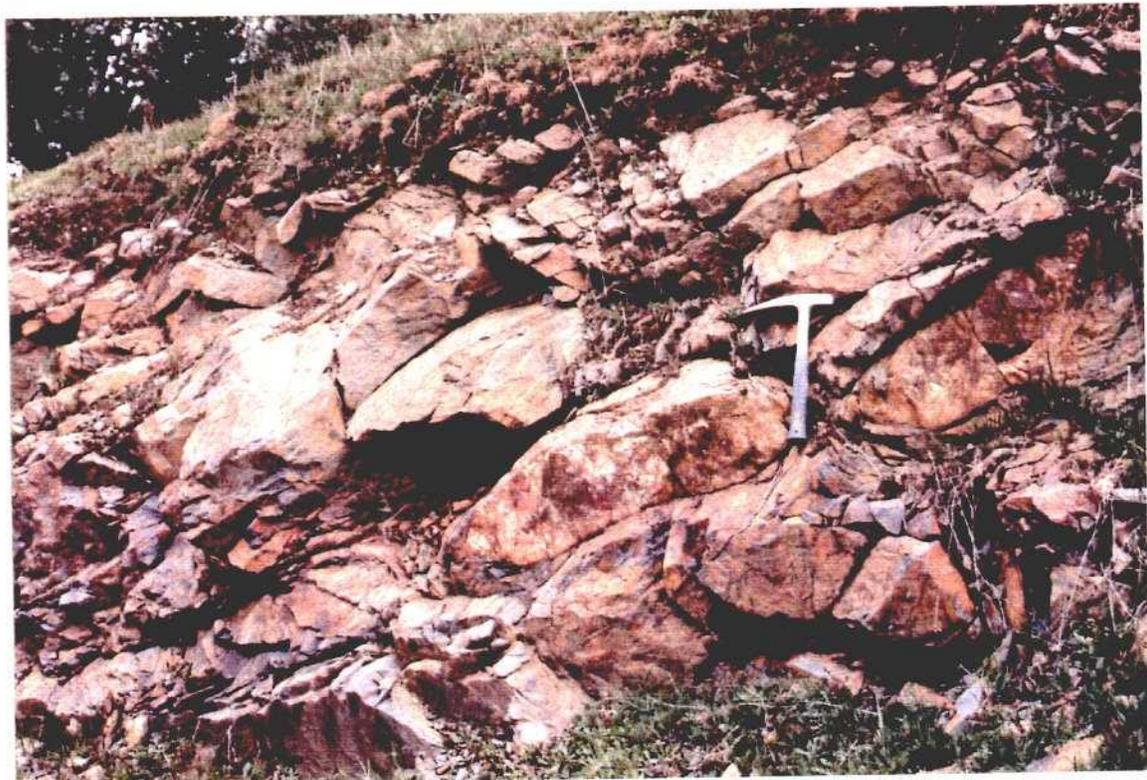


FIGURA 4.10 - BOUDINAGE EN VENAS DE CUARZO.

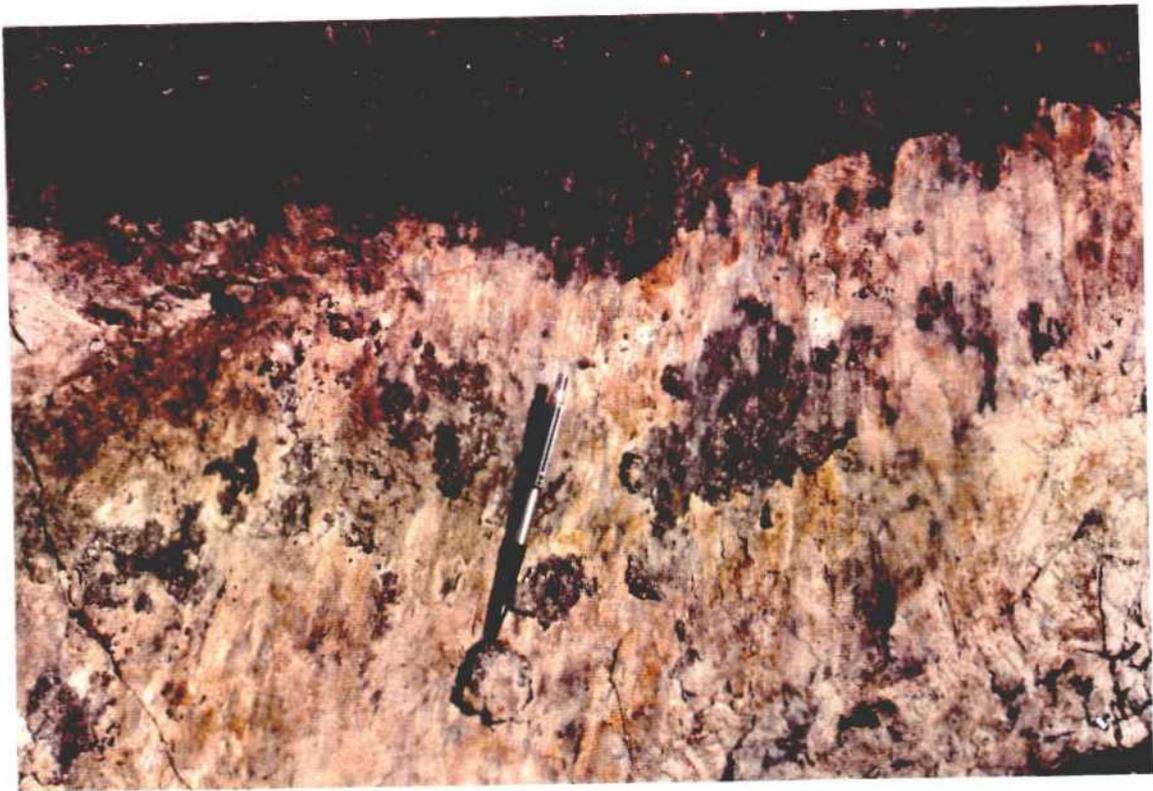


FIGURA 4.11 - ESTRIAS 60-140 EN VENAS DE CUARZO CON SULFUROS, DE DIRECCION N30 E/64E. ESTACION 6, CORTA FE.



FIGURA 4.12 - SISTEMAS DE FALLAS TARDIAS CONJUGADAS N60 E (DEXTRA) Y N110 E (SINISTRA). ESTACION 3, CORTA FE.

**CAPITULO - 5 - ANALISIS MULTIESPECTRAL Y CLASIFICACION DIGITAL DE
IMAGENES LANDSAT THEMATIC MAPPER EN EL AREA DE MINA FE (CIUDAD
RODRIGO).**

Carmen Antón-Pacheco, Juan Carlos Gumiel, Pablo Gumiel (ITGE).

5.1 - INTRODUCCION

Los datos multiespectrales registrados por los satélites Landsat Thematic Mapper (TM) proporcionan una información muy útil para establecer diferencias espectrales en suelos y rocas en base a su composición mineralógica. La buena resolución espacial y radiométrica de estos datos permite detectar las sutiles manifestaciones superficiales que con frecuencia se asocian a las litologías y alteraciones que caracterizan el ámbito de deposición de ciertos yacimientos minerales.

Una de las aplicaciones de la información Landsat TM en estudios geológicos, es la discriminación y cartografía de áreas de alteración hidrotermal y de materiales limoníticos. Las pendientes de las curvas de reflectancia espectral así como la posición de los rasgos de absorción en el visible e infrarrojo próximo, y que son diagnósticos de carbonatos, de minerales hidratados y de minerales con Fe en su composición, caracterizan la respuesta espectral de las rocas y suelos que contienen dichos minerales.

Con el fin de extraer de estos datos la información más adecuada para la detección de materiales arcillosos y limoníticos, se utiliza un amplio abanico de técnicas de procesado digital de imágenes. Entre ellas, las composiciones de cocientes de bandas TM enfatizan las diferencias espectrales que presentan los materiales superficiales. Las técnicas de clasificación digital también se utilizan para discriminar dichas diferencias, aunque no están muy extendidas en estudios geológicos debido a que los contactos entre unidades litológicas son con frecuencia gradacionales y la morfología suele jugar un importante papel en la interpretación. Sin embargo, esta última técnica ha probado ser muy válida en áreas con buenos afloramientos y topografía moderada.

Las diferentes respuestas espectrales que presentan los suelos expuestos en campos arados de áreas cultivadas, proporcionan una información muy valiosa para discriminar rocas afectadas por metamorfismo de contacto en contextos metamórficos regionales de bajo grado (Rowan et al, 1987; Anton-Pacheco et al., 1988).

Este informe evalúa un técnica de clasificación digital de datos Landsat TM, utilizada por primera vez en el área de Cáceres, en la que granitos tardicinemáticos hercínicos intruyen con gran profusión en rocas metasedimentarias paleozoicas y precámbricas en las que producen aureolas de metamorfismo de contacto. Las características espectrales que presentan las rocas afectadas por metamorfismo de contacto y de los suelos de ellas derivados permiten diferenciarlos de las rocas equivalentes solo afectadas por el metamorfismo regional de bajo grado (Rowan et al. op. cit).

En el área de Ciudad Rodrigo, la clasificación digital de los datos Landsat TM ha permitido diferenciar un tipo de suelos derivados de rocas metasedimentarias cuya respuesta TM es más baja en todos los canales del visible e infrarrojo próximo que la de los suelos desarrollados sobre rocas equivalentes solo afectadas por un metamorfismo regional de más bajo grado.

5.2- MARCO GEOLOGICO

El área considerada en este estudio se sitúa al noroeste de Ciudad Rodrigo, en la zona suroccidental de la provincia de Salamanca, y abarca parte de las hojas de Villar del Ciervo nº 500 (10-20) y de Ciudad Rodrigo nº 525 (10-21). Desde el punto de vista geológico, está conformada por materiales metasedimentarios de posible edad Precámbrico superior - Cámbrico inferior, que se enmarcan en la parte central de la Zona Centroibérica del Macizo Hespérico. Estos materiales están en contacto, por el oeste, con las rocas graníticas del sector de Vilar Formoso - Fuentes de Oñoro, y por el norte con el granito de Villar del Ciervo, mientras que sus bordes oriental y meridional están recubiertos por los materiales terciarios de la Cuenca de Ciudad Rodrigo.

El mapa de síntesis geológica de este sector, realizado por ENUSA, ha sido digitalizado por el ITGE (Fig. 5.1), con objeto de integrar en el mapa geológico, mediante un sistema de información geográfico (SIG), la información resultante de la clasificación multiespectral, así como la obtenida a partir de los datos de gravimetría (ver Cap.6).

La estratigrafía de estos materiales se describe en detalle en el capítulo - 1 de este volumen. De forma general, y según los trabajos cartográficos más recientes realizados por el ITGE (en prensa), pueden distinguirse tres series: la serie inferior constituida por grauvacas y pizarras alternantes, depositadas en un ambiente submarino relativamente profundo durante el Precámbrico Superior. Sobre estos materiales se deposita la serie intermedia, caracterizada por tramos calcareos y calcosilicatados que corresponderían a facies de talud. La serie superior esta formada por brechas calcareas, calizas, pizarras negras, areniscas y conglomerados adscritos al Cámbrico Inferior ?. La naturaleza de los últimos sedimentos revelan un área de aporte múltiple y la presencia de un vulcanismo contemporáneo con la

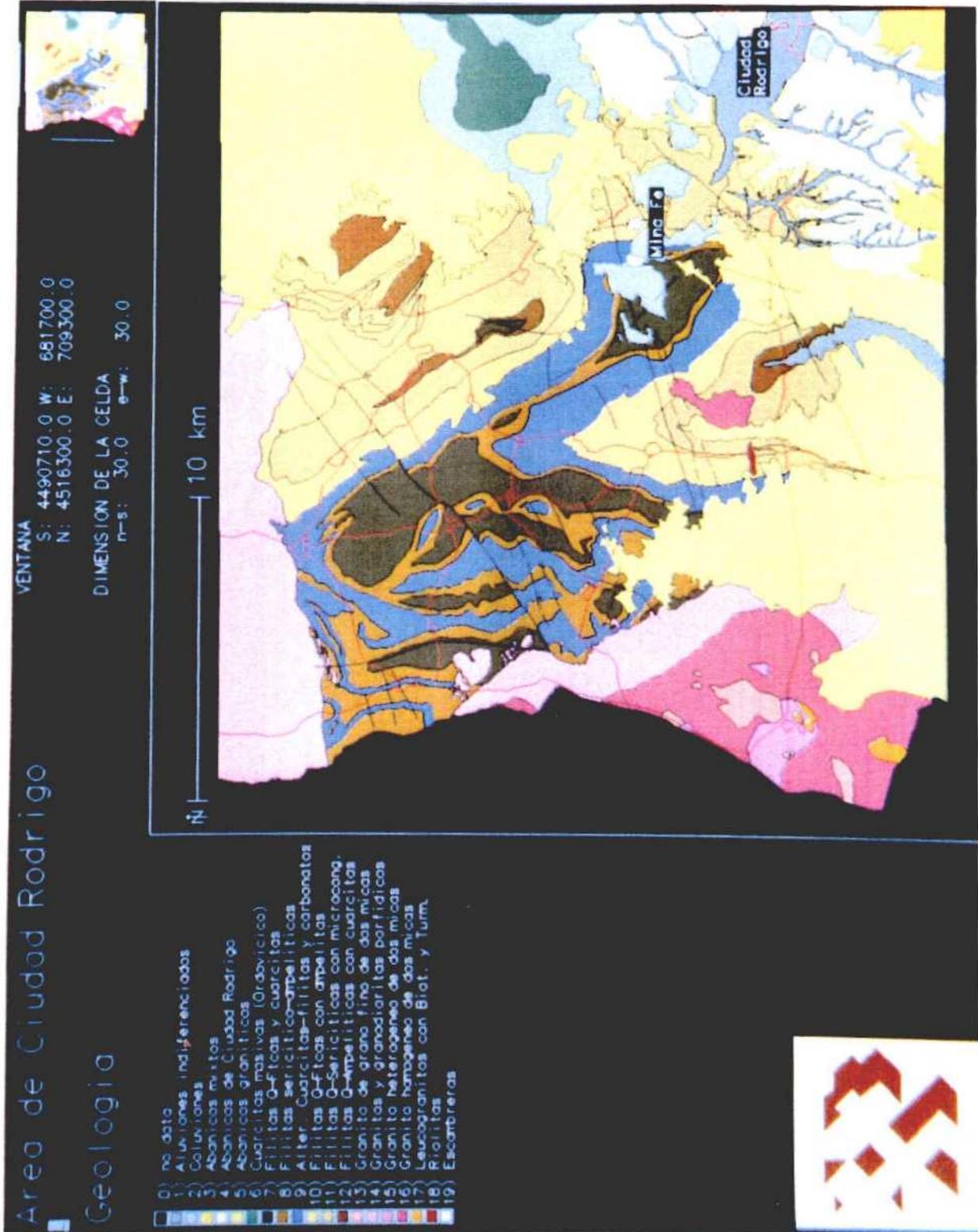


FIGURA 5.1 - MAPA GEOLOGICO DEL AREA SITUADA AL OESTE DE MINA FE (CIUDAD RODRIGO)

sedimentación (ITGE en prensa). En este sector no aparece la serie detrítico - carbonatada de edad Cámbrico inferior - medio que está representada en el Sinclinal de Sequeros (areniscas y calizas de Tamames).

Estos materiales anteordovícicos aparecen afectados por varias fases de deformación que producen un metamorfismo regional de diversa intensidad. La intrusión de masas graníticas posteriormente a la última etapa de deformación origina un metamorfismo de contacto que afecta a parte de estos materiales.

5.3 - ANALISIS DE IMAGENES LANDSAT TM.

Se ha utilizado un cuarto de escena Landsat TM, 203-32,Q2, del 15 de Julio de 1984, con el fin de estudiar las diferencias de reflectancia que presentan las principales unidades litológicas en el área de estudio.

El área de Mina Fe queda cubierta por una ventana de 1152x910 pixels del cuarto de escena Landsat TM. Las imágenes registradas durante el verano, son óptimas para el estudio de la respuesta espectral de los suelos expuestos en los campos arados de áreas cultivadas (Anton-Pacheco et al., op.cit.).

El tratamiento digital de las imágenes se ha realizado en el ITGE, utilizando el paquete ELAS que corre en un MASSCOMP 5600. Este ordenador soporta así mismo el paquete GRASS, Sistema de Información Geográfico (SIG), en interface con ELAS. La digitalización del mapa geológico ha permitido la integración, mediante GRASS, de la información espectral derivada de los datos Landsat TM georreferenciados, en la cartografía geológica.

Se han utilizado técnicas convencionales de procesado de imágenes para generar distintos tipos de combinaciones en falso color. Las imágenes obtenidas a partir de bandas individuales, cocientes y componentes principales han proporcionado, en una primera fase, una información muy útil para el reconocimiento de las distintas unidades geológicas en base a la morfología y vegetación a ellas relacionadas.

En la imagen TM745 (ARV) (Fig.5.2), los principales rasgos geológicos aparecen moderadamente definidos. El relieve en este área es relativamente suave, con una topografía media del orden de 650 m. y cotas máximas de 800 m. La homogeneidad del relieve es consecuencia del arrasamiento sufrido por el zócalo Hercínico en diversas etapas, que ha dado lugar a un modelado de aplanamiento, destacándose solamente las alineaciones cuarcíticas Ordovícicas de las Sierras de Torralba y Camaces (OR. en Fig.5.2), al norte de Ciudad Rodrigo.

Los sedimentos del Precámbrico Superior - Cámbrico Inferior (PC-CR en Fig.5.2), aflorantes al oeste de Mina Fe, aparecen muy peneplanizados. El uso del suelo en gran parte de estos materiales, es de tipo agrícola, predominando el cultivo exhaustivo de cereales en áreas próximas a los núcleos de



FIGURA 5.2 - IMAGEN LANDSAT TM745 DEL AREA DE MINA FE.
SIMBOLOS: CR: CIUDAD RODRIGO; MF: MINA FE; B: BARQUILLA; G: GALLEGOS; GR: GRANITO; PR-CR: MATERIALES DEL PRECAMBRICO SUPERIOR - CAMBRICO INFERIOR; TR: TERCIARIO.

población. En la imagen, este sector presenta una textura en damero, característica de las parcelas de los campos de cultivo, que se diferencia bien de la que aparece en los materiales terciarios (TR en Fig.5.2), relacionada con campos de mayores dimensiones. Estos campos presentan distintos colores en la imagen, que son función del tipo de vegetación asociada a los mismos. Los campos con rastrojo aparecen en colores amarillo-anaranjado, y el barbecho y/o pasto seco da tonos azulados. Los suelos abiertos que exhiben los campos arados presentan generalmente un color violeta, aunque algunos de ellos dan tonos más claros. Los suelos abiertos en el Terciario y en algunas áreas graníticas muestran una reflectividad muy alta, dando colores blancos en la imagen.

Los materiales graníticos exhiben unos colores azulados relacionados con la respuesta espectral del musgo y líquen que recubren en gran parte los afloramientos. La vegetación de encinas, jaras y matorral dan colores oscuros.

Las imágenes de cocientes de bandas TM proporcionan una mayor información sobre los materiales superficiales, al incrementarse el contraste espectral, disminuyéndose al mismo tiempo los efectos de la iluminación debidos a la topografía. El cociente $TM4/3$ (Fig.5.3) acentúa las áreas con vegetación, que aparecen dando colores muy claros correspondientes a los valores digitales altos, debido al fuerte incremento de la reflectancia en $TM4$ respecto de $TM3$. Este cociente permite discriminar los suelos abiertos que, al no tener vegetación asociada, aparecen dando colores muy oscuros.

Otro tipo de transformación que se ha utilizado en el análisis de la información TM es la de componentes principales. En este tipo de proceso, la información de las seis bandas TM del visible e infrarrojo próximo, que están muy correlacionadas entre sí, se transforman en 4 ó 5 componentes principales; las tres primeras componentes contienen más del 90% de la variabilidad de los datos originales. En términos relativos a características superficiales, la primera componente contiene la variabilidad de la reflectancia general de la escena, relacionada en gran parte con la topografía y el albedo. El resto de los componentes contienen información sobre variaciones espectrales más sutiles de los materiales superficiales. En la imagen PC312 (Fig. 5.4) se expresan bien las principales unidades geológicas presentes en este área. En particular, la red de drenaje parece muy bien definida. Los materiales graníticos (GR), aflorantes al norte y al oeste, exhiben una densa red de drenaje ortogonal claramente condicionada por la tectónica, con barrancos de incisión lineal. Los materiales terciarios (TR), especialmente la serie arcósica en el borde suroccidental, presentan así mismo un notable encajamiento de la red fluvial. Es de destacar en esta imagen, la gran profusión de lineamientos que aparecen controlando el drenaje; en particular el lineamiento de Sexmiro-Saelices (SX-SL), de dirección WSW-ENE, coincidente con el sistema de fracturas de esta orientación que compartimentan el área en bloques (ver Cap.4).



FIGURA 5.3 - COCIENTE $TM4/3$ AREA DE MINA FE. SIMBOLOS COMO EN LA FIG. 5.2



FIGURA 5.4 - IMAGEN LANDSAT PC312 DEL AREA DE MINA FE. SIMBOLOS COMO EN FIG. 5.2. SX-SL: LINEAMIENTO DE SEXMIRO-SAELICES.

Los materiales metasedimentarios muestran la típica textura de los campos de labor, con colores azules y blancos característicos, asociados a los suelos abiertos. La cubierta vegetal más densa, constituida generalmente por encinares, y en menor medida por matorral tipo jara, da colores azules más intensos.

5.4 - CLASIFICACION DIGITAL

Con objeto de obtener una información más objetiva respecto de las diferencias espectrales que exhiben los distintos tipos de suelos en la información Landsat TM, se ha realizado una clasificación no supervisada aplicando un clasificador de tipo Bayesiano o de máxima probabilidad sobre el conjunto de las bandas TM del visible e infrarrojo próximo.

Del total de las catorce clases resultantes, se han seleccionado tres clases correspondientes a suelos abiertos, cuyos valores digitales aparecen en la Tabla 5.1.

TABLA 5.1 - VALORES ESTADISTICOS DE LAS CLASES CORRESPONDIENTES A SUELOS ABIERTOS QUE APARECEN EN LA FIGURA 5.3

CLASE	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	PTS
SUELO A - MEDIA	99.8	51.6	69.01	62.08	96.21	56.79	432
DESV.STD.	4.86	3.26	4.29	3.57	7.73	5.90	
SUELO B - MEDIA	114.26	62.13	80.53	76.38	128.56	76.35	396
DESV.STD.	5.32	3.27	4.99	4.41	8.38	6.03	
SUELO C - MEDIA	130.23	71.98	98.79	101.04	197.28	117.33	891
DESV.STD.	8.42	4.07	5.86	4.80	10.27	6.52	

La Fig.5.5 corresponde a la imagen PC2 (BN), georeferenciada, en la que se han superpuesto en color, las tres clases asignadas a suelos abiertos. La clase A, en rojo y la clase B en verde, se ciñen exclusivamente a los materiales metasedimentarios del Precámbrico Superior - Cámbrico Inferior, mientras que la clase C en azul, se localiza fundamentalmente en los materiales terciarios y las rocas graníticas.

Se ha realizado un muestreo de las rocas de las que se derivan los suelos correspondientes a la clase A, que da los valores más bajos en todas las bandas TM, con objeto de intentar caracterizar el posible efecto térmico que se supone responsable de la reducción de la reflectancia en el visible e infrarrojo próximo (Botswick et al, 1984; Rowan et al, en prensa).

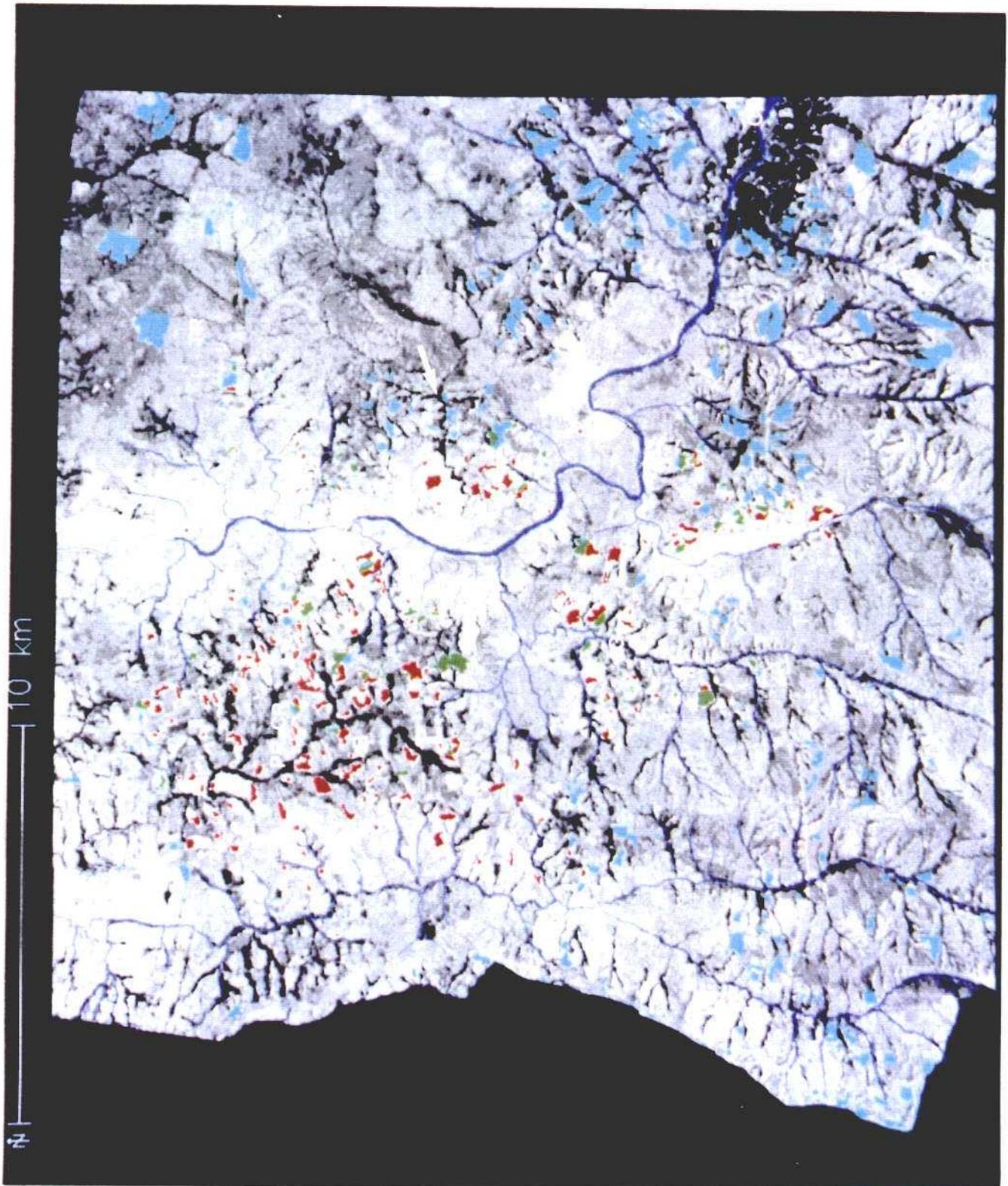


FIGURA 5.5 - IMAGEN LANDSAT PC2 GEORREFERENCIADA CON SUPERPOSICION DE LAS CLASES CORRESPONDIENTES A SUELOS ABIERTOS. SIMBOLOS COMO EN FIG. 5.2.

Tanto las imágenes TM como la clasificación multispectral, una vez georreferenciadas, se han transferido al sistema de Información Geográfica (SIG). De este modo, es posible la integración inmediata de estos datos en el mapa geológico previamente digitalizado.

En la Fig. 5.6, aparece el mapa geológico sobre el que se han superpuesto los suelos correspondientes a la clase A, en rojo, y la ubicación de las muestras de roca de las que se derivan los suelos, y en las que se han realizado los estudios petrográficos.

5.5 - INTERPRETACION Y CONCLUSIONES

Los suelos adscritos a la clase A se localizan en tres áreas. En la de Gallegos de Argañan (Fig.5.7 y Fig.5.8), al sur, donde aflora un pequeño stock granítico que produce una aureola de metamorfismo de contacto en los materiales metasedimentarios encajantes. Las pizarras mosqueadas son las rocas más comunes producidas por el efecto térmico de este cuerpo granítico, apareciendo ocasionalmente corneanas en las proximidades del intrusivo. Los suelos clasificados se disponen en este sector alrededor del granito, en la zona de la aureola, aunque sobrepasando los límites de la misma, expresados en la cartografía, especialmente en el extremo sureste. Esta distribución alrededor del granito, aunque de forma irregular, debido a que sólo parte de los campos cultivados exhiben suelos abiertos en la fecha de registro de la imagen, permite suponer que la baja respuesta TM que presentan estos suelos podría estar motivada por el efecto que origina el metamorfismo térmico en las rocas metasedimentarias. No parece que este tipo de respuesta esté relacionada con litologías específicas, ya que los suelos así clasificados derivan tanto de pizarras cuarzo-feldespáticas y ampelitas, como de rocas calcosilicatadas.

En este sector, los suelos correspondientes a la clase C, en azul, que dan los valores más altos en todas las bandas TM, se disponen exclusivamente sobre el granito de Gallegos y los materiales arcóscicos terciarios.

En el área de Barquilla, al norte (Figs.5.9 y 5.10) los suelos de la clase A, en rojo, aparecen en gran profusión, indistintamente asociados a todas las litologías presentes en este sector: pizarras cuarzo-feldespáticas, pizarras sericítico-ampelíticas, rocas calcosilicatadas y anfibolitas. Su disposición es muy irregular, aunque cabe destacar una mayor concentración en los alrededores de Barquilla, en áreas alejadas de los granitos de Villar del Ciervo y de Fuentes de Oñoro, y en donde no se conocen cuerpos intrusivos aflorantes.

Por último, cabe mencionar la presencia de estos suelos - clase A -en el área de Saelices (Figs.5.9 y 5.10), al sureste de Barquilla. En este sector, los suelos clasificados derivan de pizarras cuarzo-ampelíticas y pizarras cuarzo-sericíticas, ubicándose como en el caso de Barquilla en una zona en la que no se conocen granitos aflorantes.

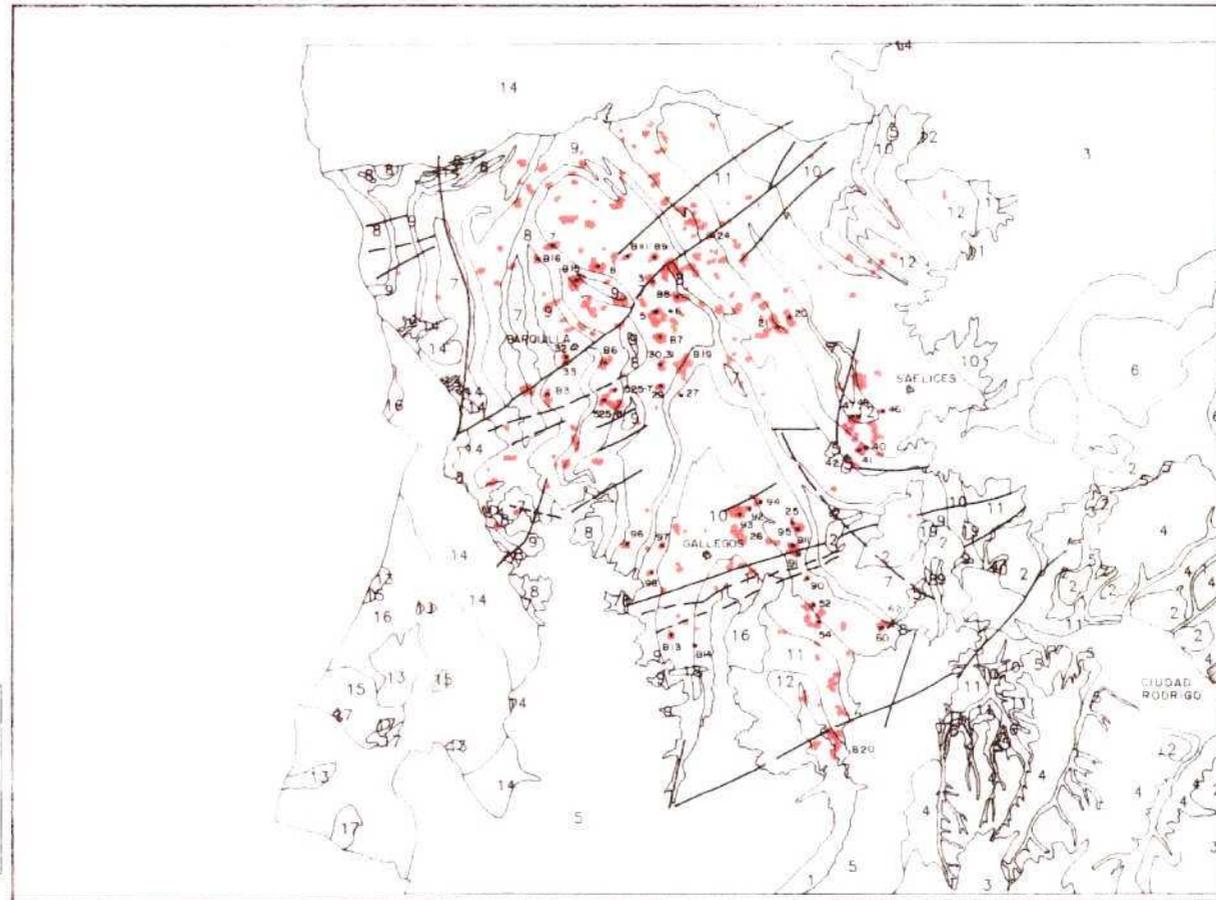
Area de Ciudad Rodrigo

I.T.G.E. - S.I.G.

LEYENDA

- 1. Aluviones indiferenciados
- 2. Coluviones
- 3. Abanicos mixtos
- 4. Abanicos de Ciudad Rodrigo
- 5. Abanicos graníticos
- 6. Cuarcitas masivas (Ordovico)
- 7. Filitas Q-Piccas y cuarcitas (CRG)
- 8. Filitas sercítico-ampelíticas
- 9. Alter. Cuarcitas-filitas y carbonatos
- 10. Filitas Q-Piccas con ampelitas
- 11. Filitas Q-Sercíticas con microcong
- 12. Filitas Q-Ampelíticas con cuarcitas
- ROCAS IGNEAS**
- 13. Granite de grano fino de dos micas
- 14. Granitos y granodioritas porfídicos
- 15. Granite heterogeneo de dos micas
- 16. Granite homogéneo de dos micas
- 17. Leucogranitos con Biot. y Turm.
- 18. Riolitas
- 19. Escambreras

- Cl. TM
- Falla
- - - Contacto
- Situación muestra



Escala 1:150000

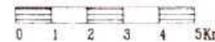


FIGURA 5.6 - MAPA GEOLOGICO DEL AREA DE MINA FE CON SUPERPOSICION DE LA CLASE A, CORRESPONDIENTE A SUELOS DERIVADOS DE ROCAS METASEDIMENTARIAS Y UBICACION DE LAS MUESTRAS DE ROCA.

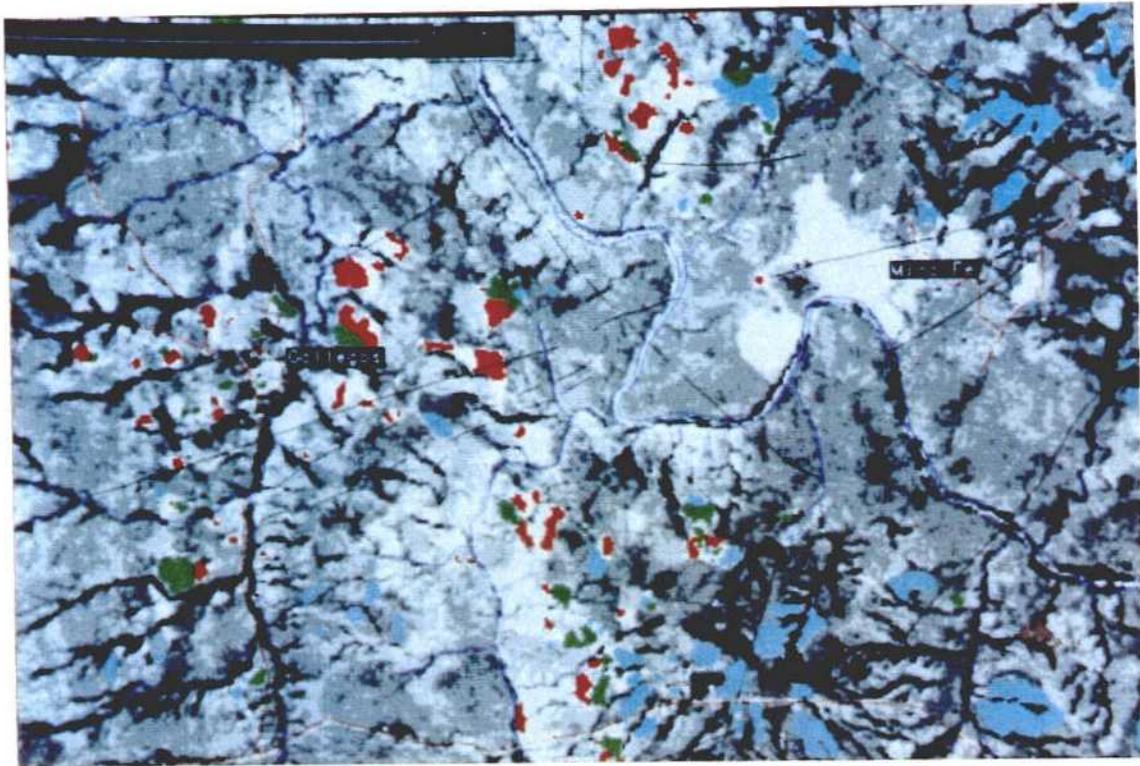


FIGURA 5.7 - IMAGEN PC2 DEL SECTOR DE GALLEGOS DE ARGANAN CON SUPERPOSICION DE TRES CLASES (A,B,C) DE SUELOS ABIERTOS.

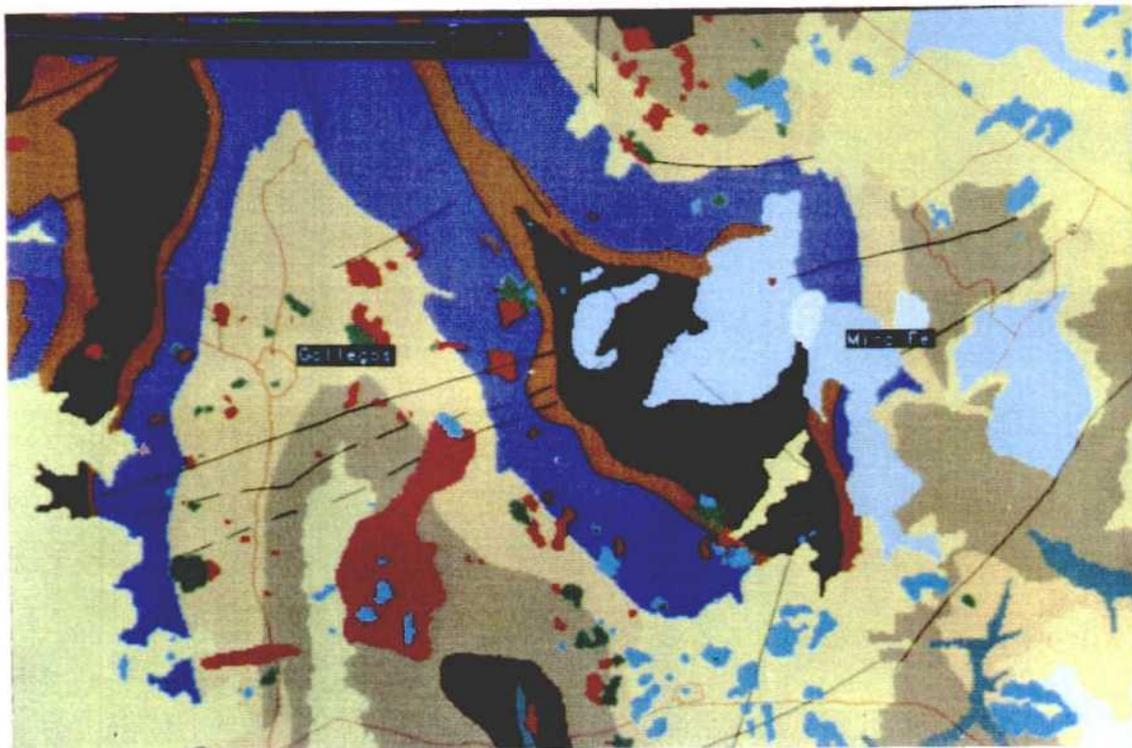


FIGURA 5.8 - MAPA GEOLOGICO DEL SECTOR DE GALLEGOS DE ARGANAN CON SUPERPOSICION DE TRES CLASES (A,B,C) DE SUELOS ABIERTOS. LEYENDA COMO EN FIG. 5.1.

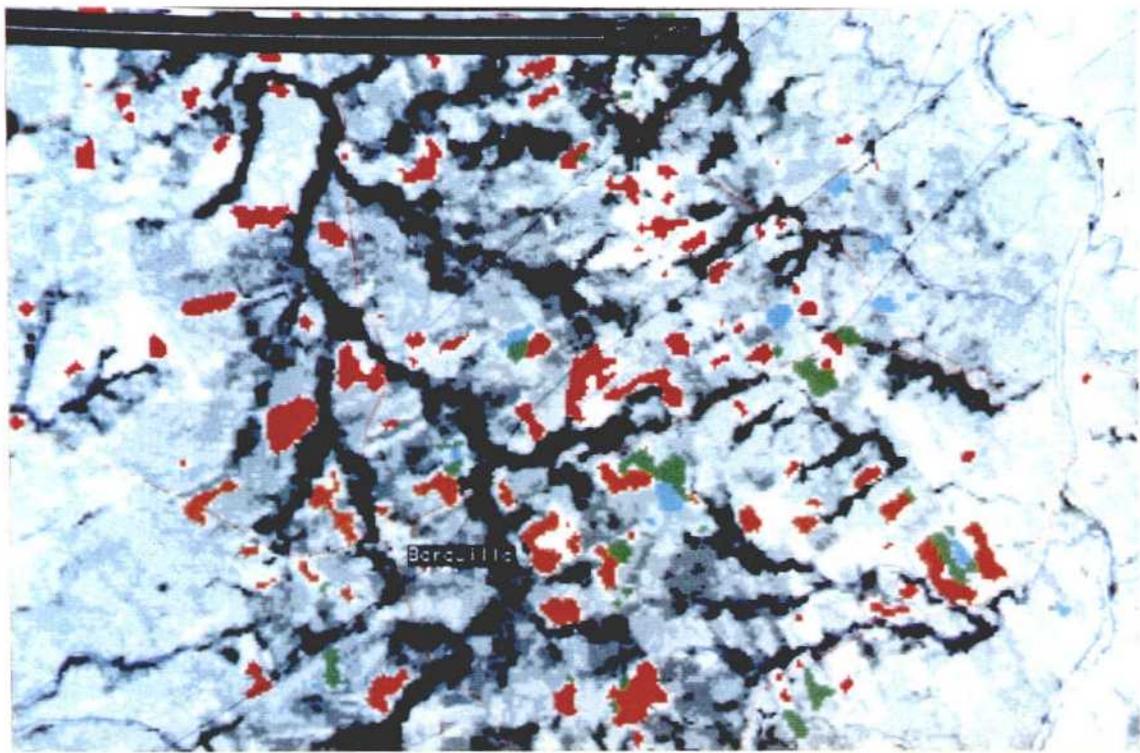


FIGURA 5.9 - IMAGEN PC2 DEL SECTOR DE BARQUILLA CON SUPERPOSICION DE TRES CLASES (A,B,C) DE SUELOS ABIERTOS.

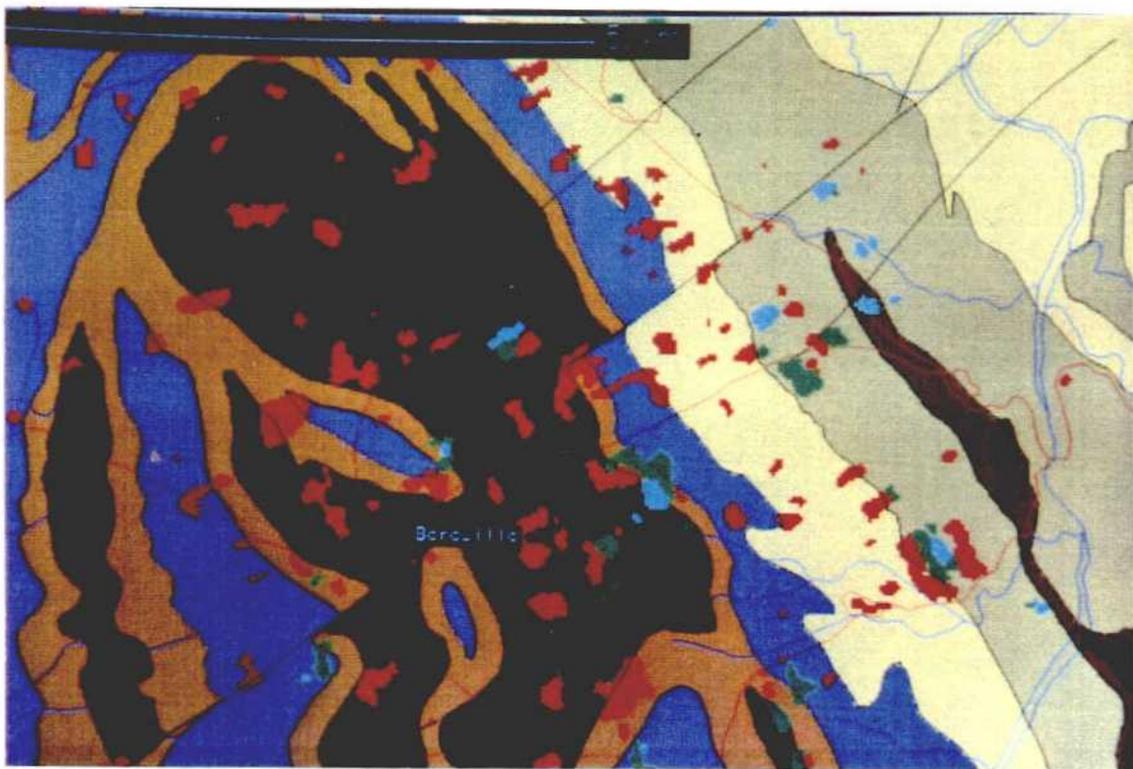


FIGURA 5.10- MAPA GEOLOGICO DEL SECTOR DE BARQUILLA CON SUPERPOSICION DE TRES CLASES (A,B,C) DE SUELOS ABIERTOS.

Se ha realizado un estudio petrográfico sobre cincuenta y seis muestras, de las rocas de las que derivan los suelos clasificados (clase A), con objeto de caracterizar el posible efecto térmico, que en otras áreas del Macizo Hespérico ha podido ser reconocido realizando estudios multiespectrales similares (Rowan, op.cit.; Antón-Pacheco, op.cit). Se ha podido constatar que algunas rocas han sido afectadas por metamorfismo térmico. En los materiales de naturaleza pelítica, esto es claro cuando se observan porfidoblastos de biotita subidiomorfa cuyos planos de exfoliación se disponen ortogonalmente a la esquistosidad dominante de la roca. Tal es el caso de las muestras 500-7, 500-21B y B-3.

En otras ocasiones, es más difícil precisar si las rocas han sufrido metamorfismo de contacto, debido a que se superponen el efecto del metamorfismo regional, que en algunas áreas, alcanza el grado más alto de la facies de los esquistos verdes: isograda biotita-granate, y la neoformación de blastos de biotita que cortan la esquistosidad, estos últimos claramente debidos a efectos térmicos. Además, el retrometamorfismo, asignado a la segunda fase de metamorfismo regional por Martín Izard (1985), produce la desestabilización de los granates - transformación en biotitas y cloritas -, anfíboles y posibles andalucitas y cordieritas transformadas en productos sericíticos. Por consiguiente, es posible que los efectos de metamorfismo regional y de contacto se superpongan en las siguientes láminas: 500-42A, 500-31, 500-32B, 500-3.

Las rocas calcosilicatadas con epidota, zoisita, actinolita-tremolita, con o sin granates, han sido originadas como consecuencia de la primera fase de metamorfismo regional, así como las rocas anfibolíticas. No obstante, la asociación mineral cuarzo, epidota, zoisita, tremolita-actinolita, biotita, clorita, esfena, también ha sido asignada por Martín Izard (op.cit.) a la segunda fase de metamorfismo regional. Sin embargo, en el estudio petrográfico llevado a cabo sobre algunas de las rocas que se derivan de los suelos de la clase A, se han reconocido las texturas "hornblengarbenschiefer", típicas de los niveles carbonatados -muestras 500-5A, 500-25A, 500-55, 525-8, ya citadas por Martín Izard (op.cit.), observándose además, minerales propios de tactitas: epidota, zoisita, vesubiana, característicos de metamorfismo de contacto, como es el caso de las muestras 500-21A, 500-32A 500-33A y 500-91.

De lo anteriormente expuesto, cabe concluir que la clasificación digital realizada a partir de los datos Landsat TM en el área de Mina Fe, ha permitido discriminar una clase de suelos, desarrollados sobre los materiales metasedimentarios, que presenta una respuesta espectral en las bandas TM del visible e infrarrojo próximo, más baja que las de otras clases de suelos presentes en este área. Los estudios petrográficos realizados sobre las rocas de las que se derivan dichos suelos no permiten, sin embargo, imputar al efecto térmico como el único responsable de la disminución de la reflectancia, como ocurre en otras áreas estudiadas de la Zona Centroibérica.

La existencia en el área de mina Fe de un metamorfismo regional , que alcanza en algunos sectores la isograda biotita-granate, hace sospechar que la bajada de la reflectancia pudiera ser causada por un efecto combinado de ambos tipos de metamorfismo. La comparación de la clasificación TM con otro tipo de datos geofísicos, resulta en este caso especialmente crítica para la correcta evaluación de los suelos clasificados.

CAPITULO - 6 - GRAVIMETRIA EN MINA FE, CIUDAD RODRIGO (SALAMANCA).

Rocio Campos (ITGE).

6.1 - INTRODUCCION.

En el Servicio de Geofísica del I.T.G.E. se ha llevado a cabo, a cargo del proyecto "Trabajos geofísicos de apoyo a investigaciones mineras", la cobertura gravimétrica del área de Mina Fe, en Ciudad Rodrigo (Salamanca).

Este trabajo se encuadra en el proyecto "Development of new multidisciplinary techniques for mineral exploration in several areas of the western Iberian Peninsula" (Gumiel, P. 1990), el cual, está financiado en parte por la comisión de la C.E.E.

Se trata de un proyecto de cooperación multinacional que esta siendo realizado entre diversos Organismos Públicos y Empresas Estatales, en el cual, el Instituto Tecnológico Geominero de España ostenta la responsabilidad del proyecto.

El objetivo de este proyecto conjunto es el de proporcionar nuevas guías de exploración de Au, Sb, Sn, W, Nb, Ta, Li, y U, en situaciones geológicas donde es conocido que aparecen en concentraciones económicas o subeconómicas, así como el desarrollo de nuevos conceptos en relación con otros estilos de mineralización desconocidos.

La prospección gravimétrica, como otra de las técnicas multidisciplinares empleadas, está enfocada al control estructural de las áreas investigadas y junto con la teledetección y el análisis estructural sobre el terreno, ha sido integrada en un marco geológico de conjunto.

Los objetivos fundamentales por tanto, se han centrado en el estudio y determinación de grandes accidentes estructurales, (lineamientos mayores) en las rocas metamórficas, así como el control de la forma y extensión en profundidad de los cuerpos graníticos aflorantes o subaflorantes y su relación con las rocas encajantes.

Para llevar a cabo estos objetivos, la obtención del mapa de anomalías de Bouguer, constituye el punto de partida de la investigación, con las correcciones y cálculos que conlleva. (ITGE,1990, informe interno).

En cuanto a la interpretación, se ha realizado una interpretación cualitativa del Mapa de Anomalías de Bouguer en conjunción con datos derivados de estudios propiamente geológicos, análisis estructural y técnicas de teledetección. En este sentido, hay que precisar que no existe una única

interpretación de los datos gravimétricos. Esta ambigüedad en la interpretación puede ser generalmente reducida procurando una integración de los datos geofísicos y geológicos. Así, hay que tener en cuenta que las posibles distribuciones de masa que generan una anomalía, tienen una serie de limitaciones, presentando unas condiciones concretas que se pueden establecer tanto mejor, cuanto más precisa sea la información que se posea de la geología regional.

Por tanto, a partir de los conocimientos de la geología regional (Cap.1), se han considerado tan solo aquellos aspectos geológicos más relevantes para la interpretación gravimétrica (ver Cap.4).

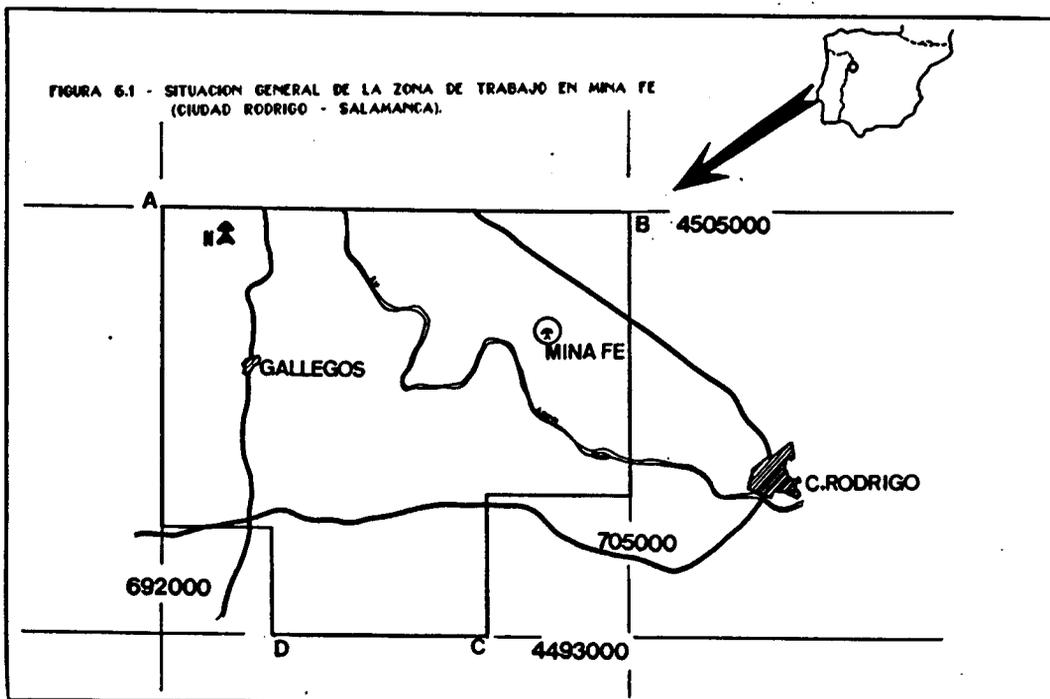
6.2 - LOCALIZACION

Geográficamente el área de estudio se sitúa al oeste de Ciudad Rodrigo en la Provincia de Salamanca (Fig. 6.1). Se trata de un área de 12*12 Km aproximadamente y queda delimitada por las siguientes coordenadas U.T.M.:

A - x=692000; y=4505000; B - x=705000; y=4505000
C - x=701000; y=4493000; D - x=695000; y=4493000 (Fig.6.1).

Ocupa parcialmente la Hoja 525 (Ciudad Rodrigo) del M.T.N. a escala 1/50000.

En la figura 6.1 se representa el área elegida para realizar el trabajo, la cual obedece a criterios geológicos y mineros. El trabajo se centra por un lado, alrededor de la corta de Mina Fe y en las áreas adyacentes con mayores posibilidades de exploración, y por otro, abarca zonas del Complejo Esquisto Grauváquico (CEG) con una estructuración compleja producida por una tectónica de ejes cruzados, así como el stock granítico de Gallegos.



6.3 - GRAVIMETRIA

La toma de datos en campo se efectuó en el mes de Abril de 1990, realizándose 131 estaciones con una densidad de una estación por Km². Se procuró una distribución de las estaciones lo más aproximada posible a la configuración de malla regular (Fig.6.2).

Para la toma de datos de gravimetría se estableció, en primer lugar, una base gravimétrica en Mina Fe, teniendo en cuenta el tiempo de duración, así como la rentabilidad de los desplazamientos diarios para la apertura y cierres de programas. La unión de esta base para trabajar con valores absolutos de la gravedad se realizó a través de una base intermedia situada en el cruce Tamames-Vitigudino de la carretera N-620 con la base de la red de gravimetría fundamental :BF salamanca-B.

Los croquis y referencias de las bases estan representados en las figuras 6.3, 6.4 y 6.5.

Teniendo en cuenta cierres y compensaciones (Fig. 6.6), los valores de estas bases son:

B1 - (base intermedia, cruce)- 980040.22 mGal

B2 - (BF-Salamanca B)- 980046.62 mGal

B3 - (base de trabajo en Mina Fe)- 980059.61 mGal

6.3.1 - Obtención de la anomalía de Bouguer.

Para la obtención de la anomalía de Bouguer en lo que respecta a la adopción de sistema de cálculo, unidades, etc... se ha seguido la norma UNE 22611 (1985) relativa a trabajos geofísicos de gravimetría.

Cálculos

En la determinación de la anomalía de Bouguer, se han incluido las siguientes correcciones y cálculos:

- corrección lunisolar
- corrección de deriva y de inclinación del gravímetro
- compensación de la temperatura del gravímetro
- cálculo de la gravedad teórica
- cálculo del efecto topográfico

TOPOGRAFIA MINA FE - X, Y, N.est.

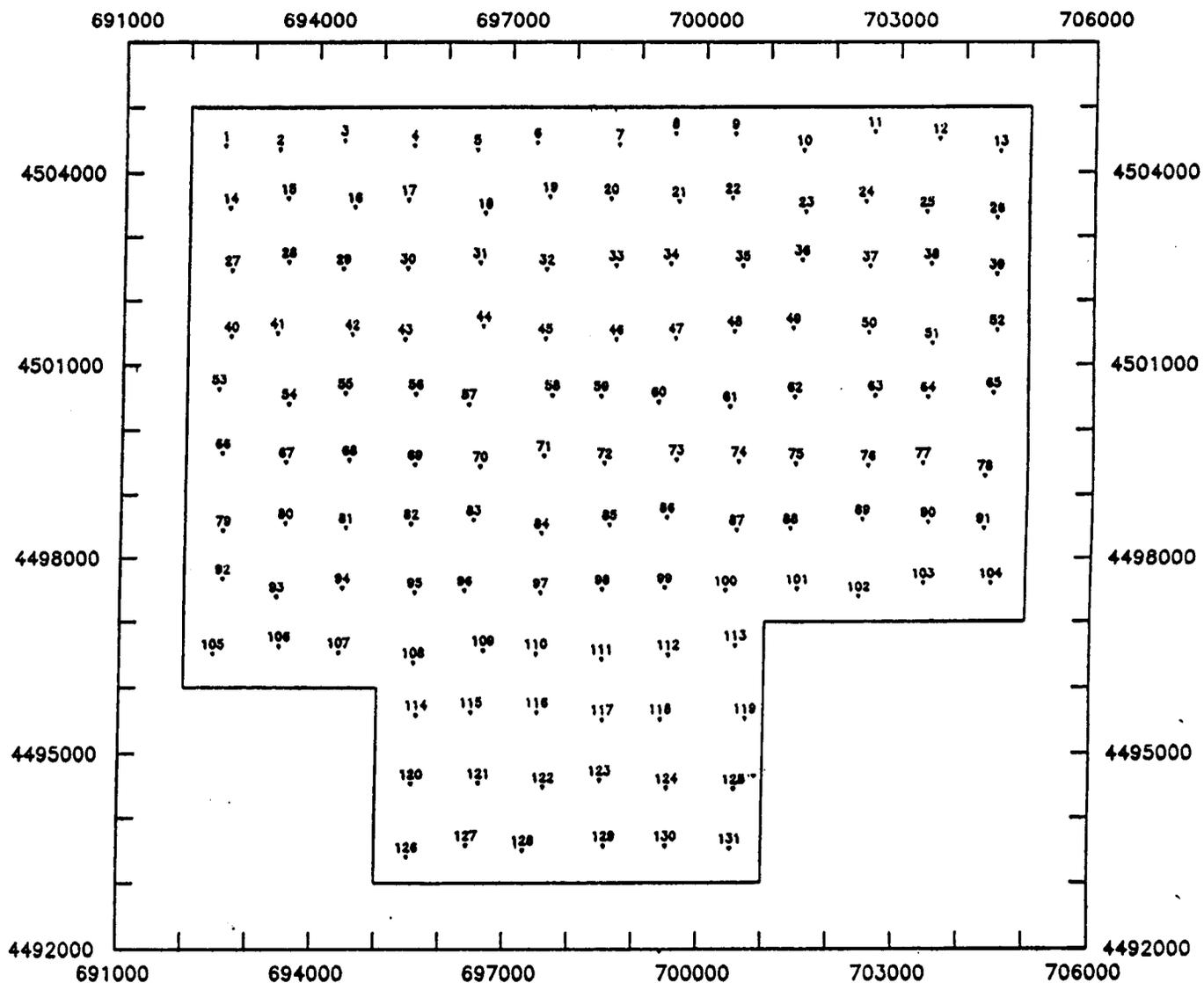


FIGURA 6.2 - SITUACION Y TOPOGRAFIA DE LOS PUNTOS REALIZADOS POR E.N.U.S.A.

DENOMINACION DE LA BASE - B1 - CRUCE DE VITIGUDINO

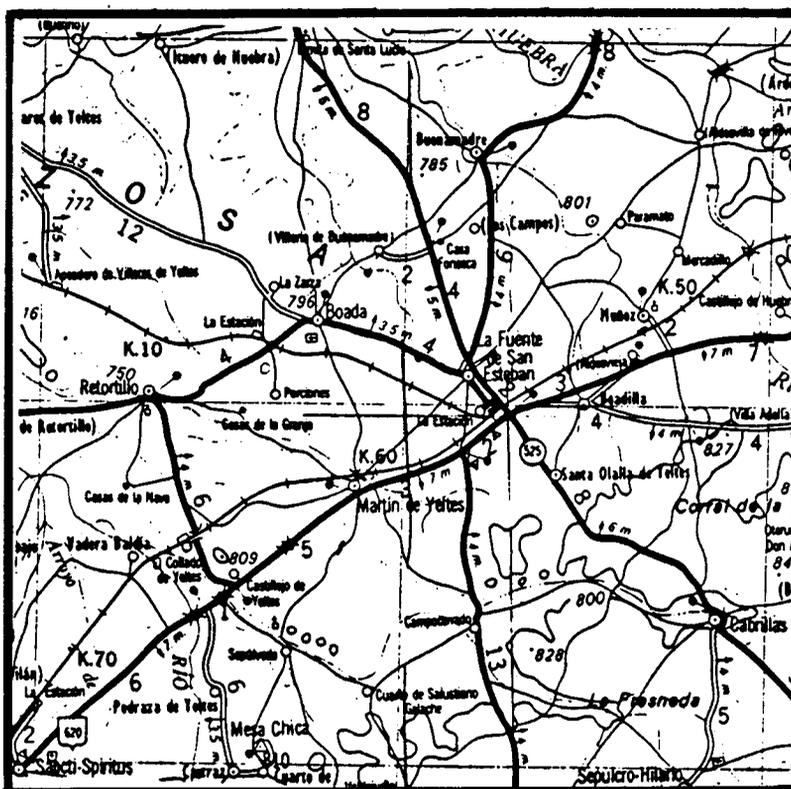
COORDENADAS U.T.M. X= 733400
(aproximadas) Y= 4519600

GRAVEDAD - 980040.22 mGal

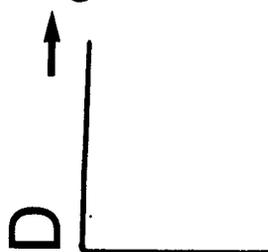
TERMINO MUNICIPAL - LA FUENTE DE SAN ESTEBAN

PROVINCIA - SALAMANCA

HOJA DEL M.T.N. ESCALA 1/50.000 - 501 - LA FUENTE DE SAN ESTEBAN



Vitigudino



RESEÑA

Por la Carretera Nacional 620 (Salamanca - Ciudad Rodrigo) existe un cruce de dirección Vitigudino . En este cruce se situó la base (B1), en la esquina izquierda de la fachada de los talleres SEAT.

CROQUIS

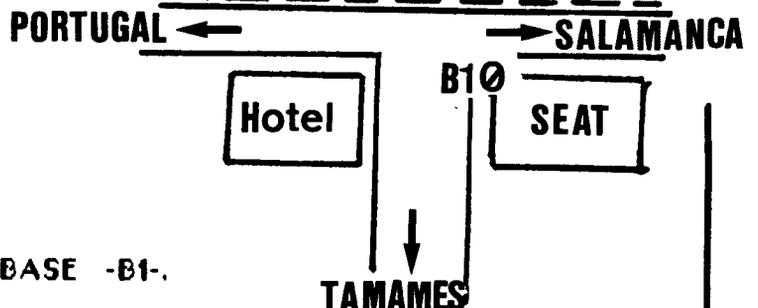


FIGURA 6.3 - DESCRIPCION DE LA BASE -B1-.

DENOMINACION DE LA BASE - B3 - MINA FE

COORDENADAS U.T.M. X= 701750
(aproximadas) Y= 4502800

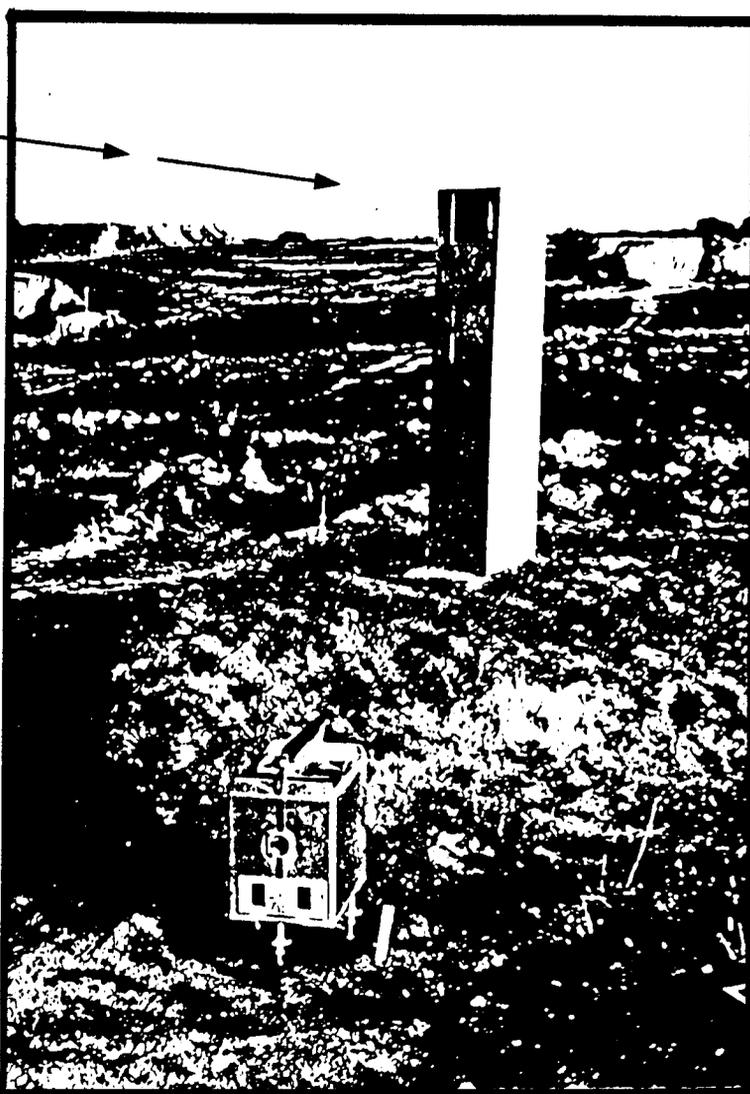
GRAVEDAD - 980059.61 mGal

TERMINO MUNICIPAL - CIUDAD RODRIGO

PROVINCIA - SALAMANCA

HOJA DEL M.T.N. ESCALA 1/50.000 - 525 - CIUDAD RODRIGO

**BASE CALIBRACION
BRUJULAS**



RESEÑA

En la Mina Fe, junto a las oficinas del Dto. de Exploración, existe una base de declinación de brujulas. Al pié de esta columna se situa la base gravimétrica de trabajo.

FIGURA 6.4 - DESCRIPCION DE LA BASE -B3-.

GRAVITY STATION DESCRIPTION	STATION TYPE	STATION DESIGNATION
COUNTRY España	STATE/PROVINCE Salamanca	CITY Salamanca
LATITUDE 40° 58' 00	LONGITUDE - 5° 40' 20	ELEVATION 805,0 m.
GRAVITY STATION MARK Chapa metálica	AGENCY/SOURCE	INSCRIPTION B.G.
POSITION REFERENCE Mapa	POSITION SOURCE IGC	SOURCE DESIGNATION 1:50.000 hoja 478
ELEVATION REFERENCE Mapa	ELEVATION SOURCE IGC	SOURCE DESIGNATION 1:50.000 hoja 478
POSITION/ELEVATION REMARKS G = 980046.62		
DESCRIPTION En la esquina interior izquierda de la entrada al Hospital Provincial, fachada de la calle Espejo (Facultad de Medicina) de Salamanca.		
DIAGRAM/PHOTOGRAPH		
DATE OF PHOTO 6-7-73	AGENCY IGC	DATE 6-7-73
DESCRIBED/RECOVERED BY Ramos		

FIGURA 6.5 - DESCRIPCION DE LA BASE FUNDAMENTAL DE SALAMANCA.

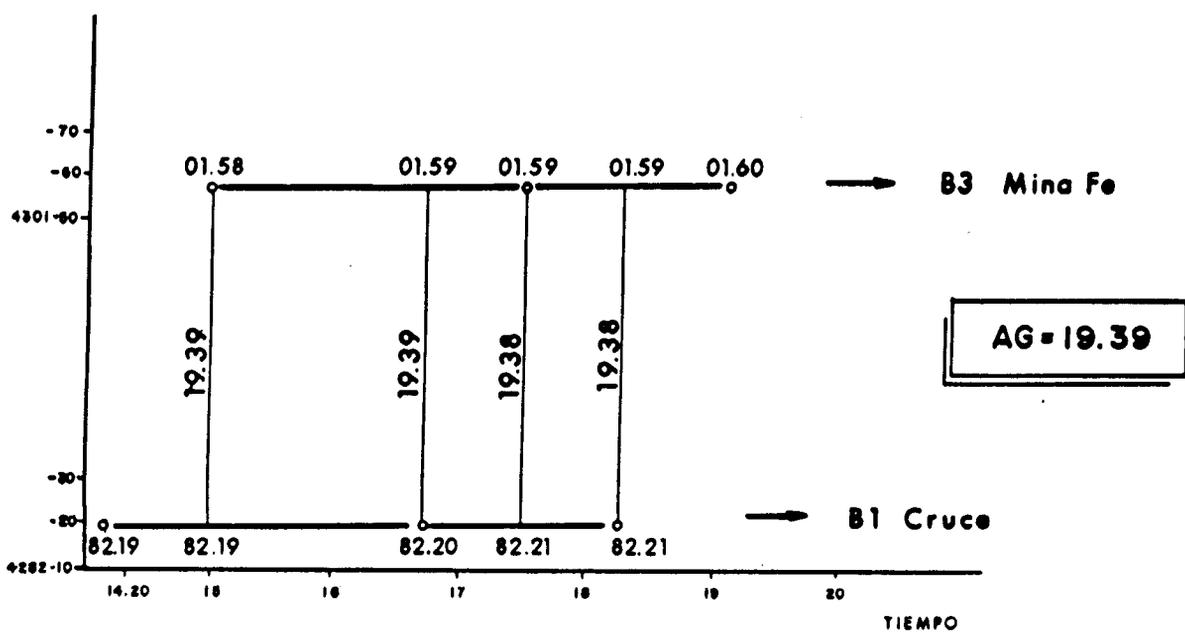
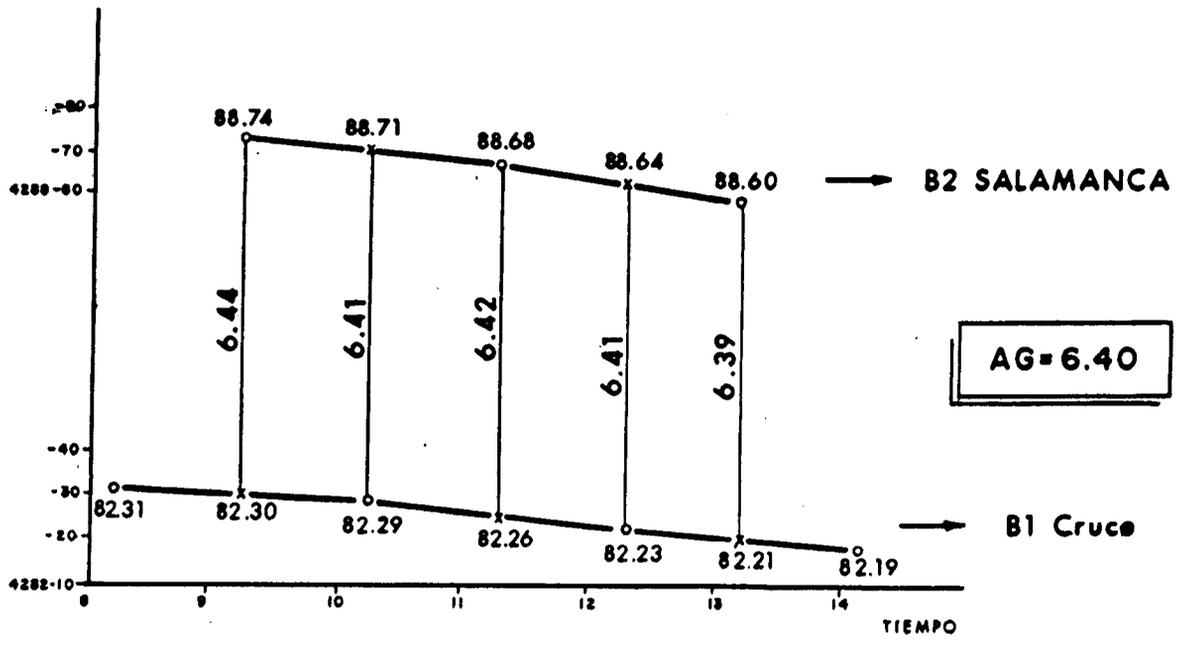
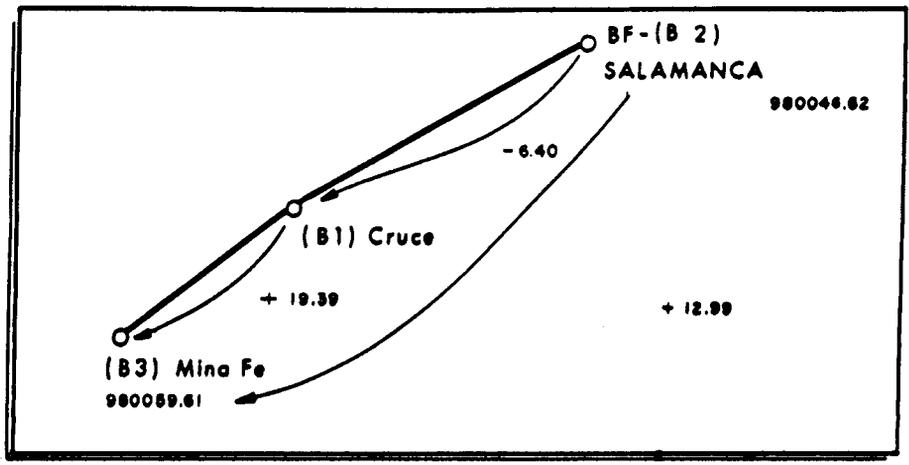


FIGURA 6.6 - ESQUEMA DE ENLACES DE BASES GRAYMETRICAS.

Corrección lunisolar

Estos cálculos están automatizados y van incluidos en el funcionamiento interno del gravímetro a través de la fórmula de Longman, introduciendo por el teclado la latitud, longitud y la diferencia horaria y aplicándose a cada lectura.

Corrección de deriva y de inclinación del gravímetro

La deriva instrumental se controló por las lecturas en base al principio y final de jornada, suponiéndola de variación lineal en ese tiempo. El valor medio de las derivas de trabajo por hora de la campaña fué calculado en 0.005 mGal/hora.

La corrección de inclinación, de igual forma introducida en el funcionamiento del gravímetro, se realiza automáticamente según la inclinación del sensor de gravedad, en relación con los ejes horizontal y perpendicular (x e y). De esta forma, los errores debidos a la inclinación del instrumento son eliminados.

Compensación de la temperatura del gravímetro

Los cambios de temperatura del muelle del gravímetro son medidos usando un sensor de temperatura en contacto térmico con el muelle principal. El valor calculado de compensación de temperatura se aplica después de cada muestra por segundo.

Cálculo de la gravedad teórica

Los valores de la gravedad normal dados por la ecuación: $g_0 = g_p(1 + A \text{ sen}^2\phi - B \text{ sen}^2(2\phi))$ dependen de los adoptados como datum y del geoide de referencia. El sistema empleado fué el del año 1967.

Elipsoide internacional
a= 6378160
b= 6356774.5161
c= 1/298.25
datum postdam = 981260 mGal
gp= 978031.8 mGal

$$g_67 = 978031.85 (1 + 0.0053024 \text{ sen}^2\phi - 0.0000059 \text{ sen}^2(2\phi))$$

expresada en mGal, siendo ϕ la latitud.

Por otra parte, la corrección de aire libre o de Fayé y la corrección de Bouguer han sido ejecutadas con los siguientes coeficientes: $F=0.30854 \text{ mGal/m}$; $B=0.04192 (\text{mGal/m}) \cdot (\text{cc/gr})$.

Cálculo del efecto topográfico

La corrección topográfica ha sido realizada según el método de Hammer, siguiendo el modo operativo descrito en 1939 (Geophysics IV, pp184).

Para el cálculo de la influencia topográfica total se ha subdividido la corrección en las siguientes zonas:

- Corrección topográfica próxima: hasta 170 m , engloba las coronas B, C y D. Se estima en campo punto por punto, al mismo tiempo que la medida con el gravímetro.

- Corrección topográfica media: desde 170 m hasta 4470 m, abarca las coronas E, F, G, H, e I y se estima sobre planos a escala 1/50.000 punto por punto.

- Corrección topográfica lejana: se refiere a las coronas J, K, L y M, y abarca una zona desde los 4470 m hasta 21944 m de radio. Esta corrección se realizó por el método de interpolación de Neuman (1963), sobre planos a escala 1/200.000 a partir de los datos en malla (5x5) de 5000 m de paso y origen U.T.M. X= 690000; Y=4490000.

6.3.2 - Control de las mediciones y cálculos.

Los controles realizados para mejorar la calidad de las mediciones a lo largo de la campaña fueron los siguientes:

- Control de las lecturas del gravímetro
- Control de la corrección topográfica media y lejana.

Control de las lecturas del gravímetro

Para el control de las lecturas del gravímetro se repitieron un total de 14 estaciones (10%), en días diferentes.

Tanto el valor medio de las derivas de los programas (0.005 mGal por hora) como el error medio cometido en las lecturas (0.013 mGal) obtenido mediante la semidiferencia entre las lecturas repetidas, pueden considerarse válidos.

Control en la ejecución de la corrección topográfica media y lejana

La forma de llevar a cabo en la práctica la corrección topográfica implica una laboriosa estimación de desniveles sobre hojas topográficas que puede introducir graves errores en el cálculo posterior de la anomalía de Bouguer. Por ello, en zonas como la actualmente investigada, de relieve medio-alto, es preciso llevar a cabo este control por repeticiones.

Para la corrección topográfica media y lejana se ha realizado la repetición del 5% de las estaciones. Teniendo en cuenta el valor de las correcciones topográficas lejanas, así como el relieve de la zona, se ha estimado admisible unas diferencias en las repeticiones de un 15%-20%.

$$\text{Siendo: } E\% = (CT1-CT2/CT2)*100$$

6.3.3 - Cálculo de la anomalía de Bouguer.

El cálculo de la anomalía de Bouguer se realizó según la expresión :

$$A = G - (gN - Z (F - B*D) - T)$$

Siendo:

A - anomalía de Bouguer; G - gravedad observada corregida del efecto lunisolar y de deriva instrumental; gN - gravedad normal; F - coeficiente de Fayé; B - coeficiente de Bouguer; D - densidad de reducción; Z - altitud; T - corrección topográfica total.

El factor de conversión C, para paso a otra densidad de reducción se obtiene mediante la fórmula, $C = 0.8384 Z - T$ y la anomalía de Bouguer en otra densidad distinta a 2 gr/cc es:

$$A1 = A - ((d - 2) / 2) * C.$$

Tanto a los valores de gravedad en las bases como a GN, se le han restado 982241.96 mGal, (979000.00 en programa más 3241.96 en campo), para manejar números de menos cifras.

6.4 - INTERPRETACION Y CONCLUSIONES

En el Mapa de Anomalías de Bouguer, se diferencian principalmente tres zonas anómalas (Figs. 6.7a, b y c).

- Zona A - Anomalía negativa.
- Zona B - Tendencia anómala NW-SE.
- Zona C - Tendencia anómala WSW-ENE.

La anomalía negativa A, se correlaciona geológica y posicionalmente con el stock granítico de Gallegos. Esta anomalía de aproximadamente -4 ó -5 mGal de intensidad y 3-4 Km de anchura, presenta una configuración bastante simétrica al norte, sur y este, con gradientes fuertes y muy semejantes (1.6, 1.7 y 2.2 mGal/Km respectivamente), lo que implica una verticalización acusada de los contactos del cuerpo granítico en estas direcciones, sobre todo hacia el este.

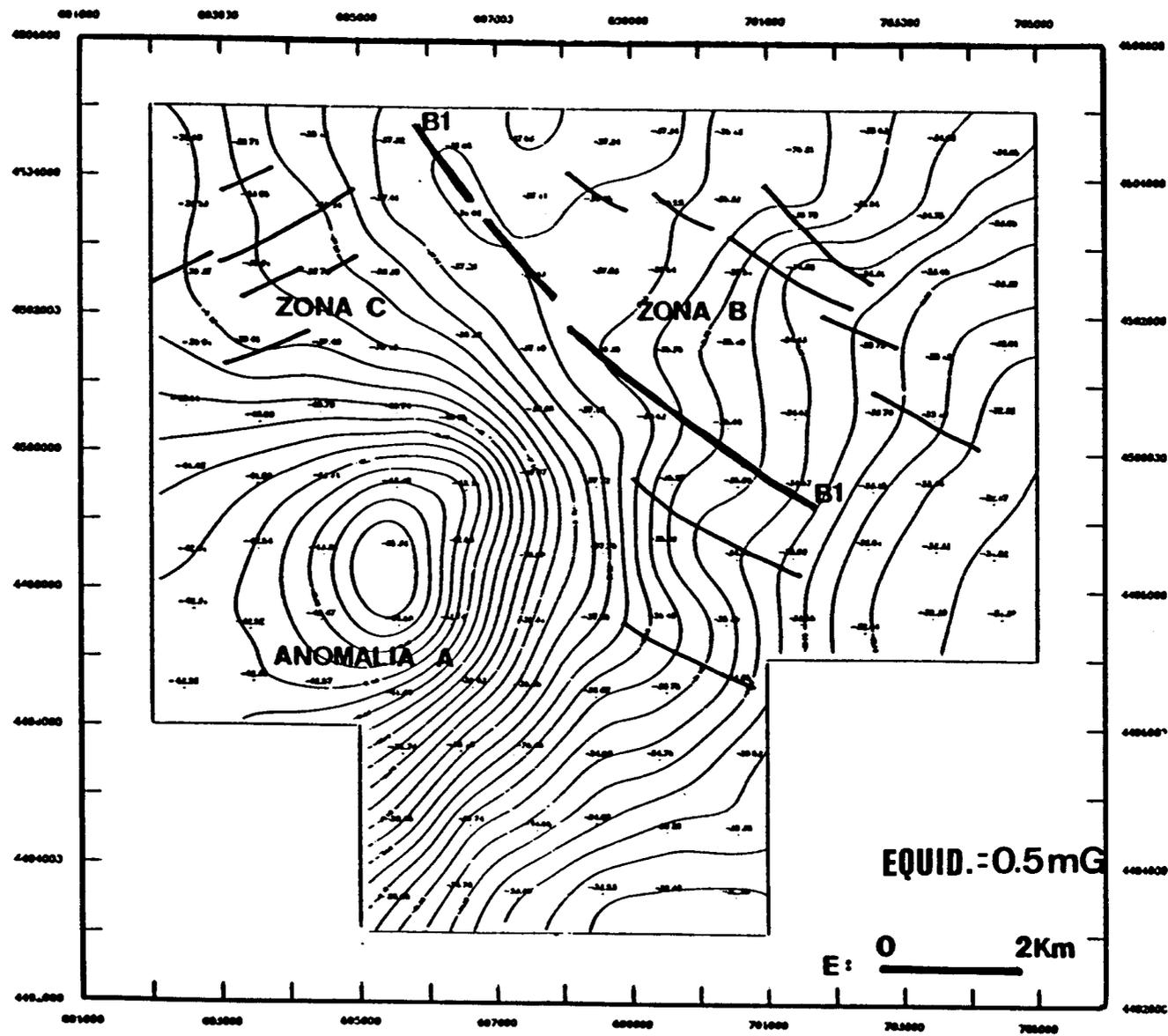


FIGURA 6.7a- MAPA DE ANOMALIAS DE BOUGUER CON DIFERENCIACION DE LAS TRES ZONAS ANOMALAS.

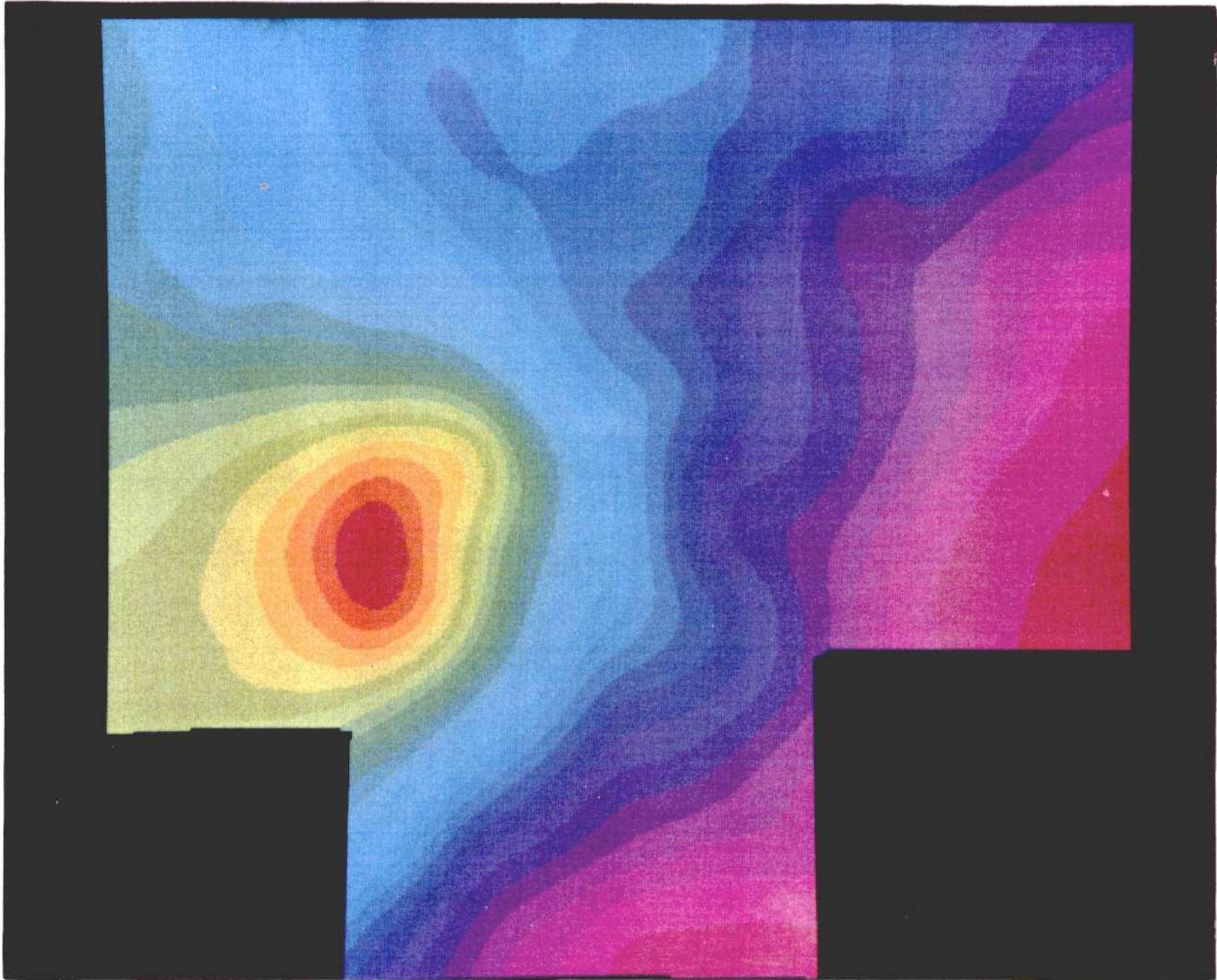


FIGURA 6.7B - MAPA DE ANOMALIA DE BOUGUER OBTENIDO EN S.I.G.

Hacia el oeste el gradiente es mucho menos acusado (0.85 mGal/km) lo que puede significar que el cuerpo granítico de Gallegos en esta dirección se extienda más superficialmente, con una inclinación de su contacto con el CEG más suave, o bien, que los materiales terciarios que afloran en esta dirección estén enmascarando la verdadera geometría de esta anomalía, ya que éstos tienen un contraste de densidad prácticamente nulo con respecto a los materiales graníticos. De cualquier forma, parece presentarse como un cuerpo individualizado.

La zona anómala B está representada por un conjunto de tendencias NW-SE que se marcan por las inflexiones de las curvas del Mapa de Anomalías de Bouguer y geológicamente puede corresponder con la dirección principal de la estructuración hercínica (pliegues NW-SE), o bien, con las direcciones de fracturación puestas de manifiesto en la zona. Por ejemplo, la tendencia B1 muy marcada en las figuras 6.7a,b,c y d coincide con el trazado de la estructura anticlinorial sobre la que se presenta, y además con una fractura importante ya puesta de manifiesto en la cartografía geológica.

Por último, la zona anómala C, aunque menos evidente que la zona B, presenta también una serie de lineamientos en dirección WSW-ENE. Esta dirección coincide con las direcciones del haz de fallas paralelas a la Falla Grafitosa, y la Falla de Carpio-Espeja (en el centro y sur del mapa respectivamente - Figs. 6.7c y d) por esta razón, se podría pensar en una zona de fracturación semejante, con la misma dirección aproximadamente que las dos anteriores y que se correlacionaría posicionalmente con estas anomalías gravimétricas.

Este hecho está además corroborado por la dirección de un lineamiento observado en la imagen Landsat PC312, que a su vez coincide con el trazado de la red fisiográfica.

Area de Ciudad Rodrigo

I.T.G.E. - S.I.G.

Coordenadas:

Norte: 4505001
Sur: 4493000
Este: 705000
Oeste: 692000

equid: 0.5 mG

86

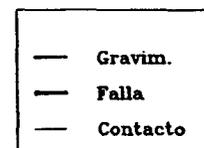
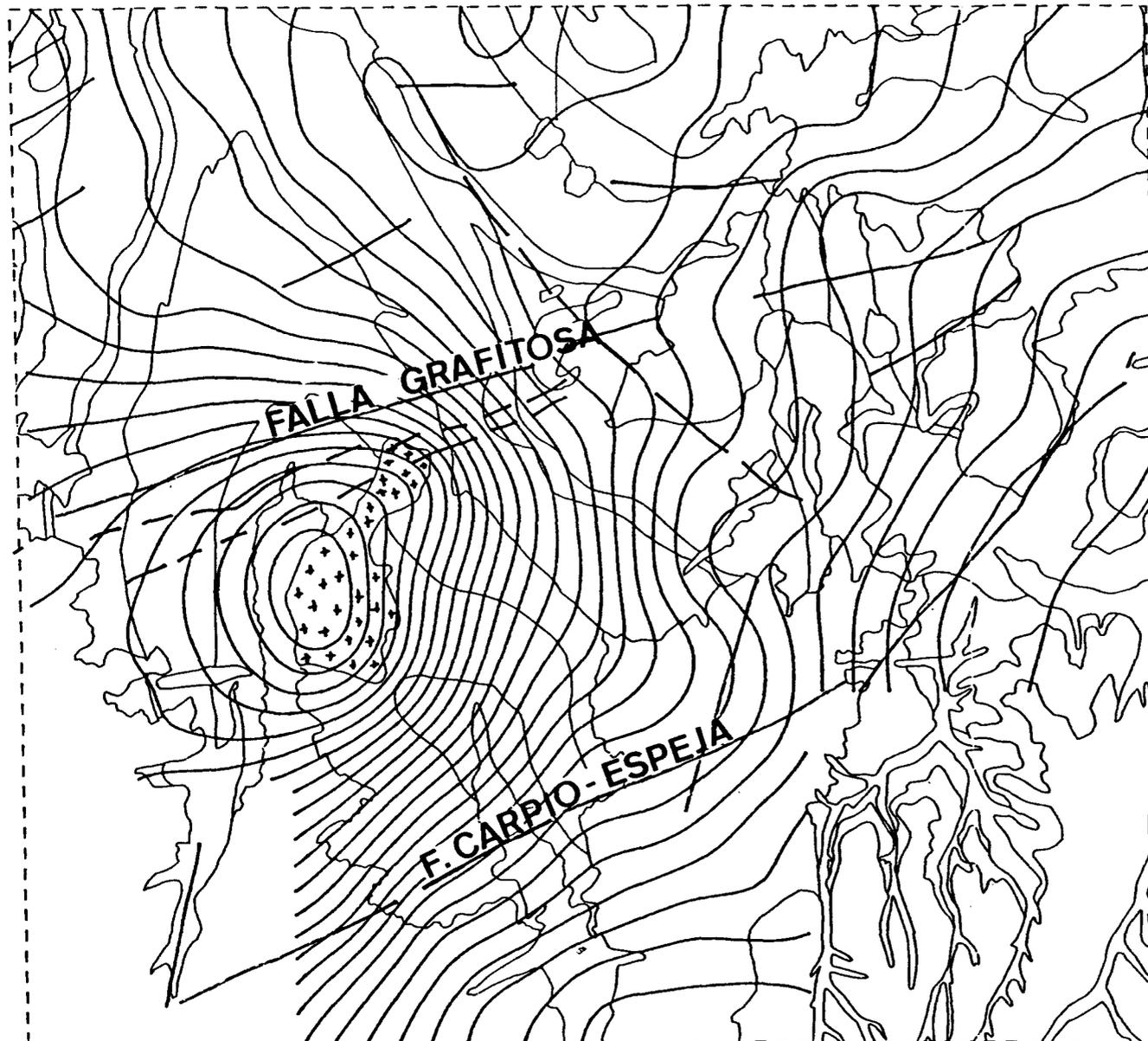


FIGURA 6.7C - CORRELACION ENTRE EL MAPA DE ANOMALIAS DE BOUGUER Y LA CARTOGRAFIA GEOLOGICA DEL AREA.

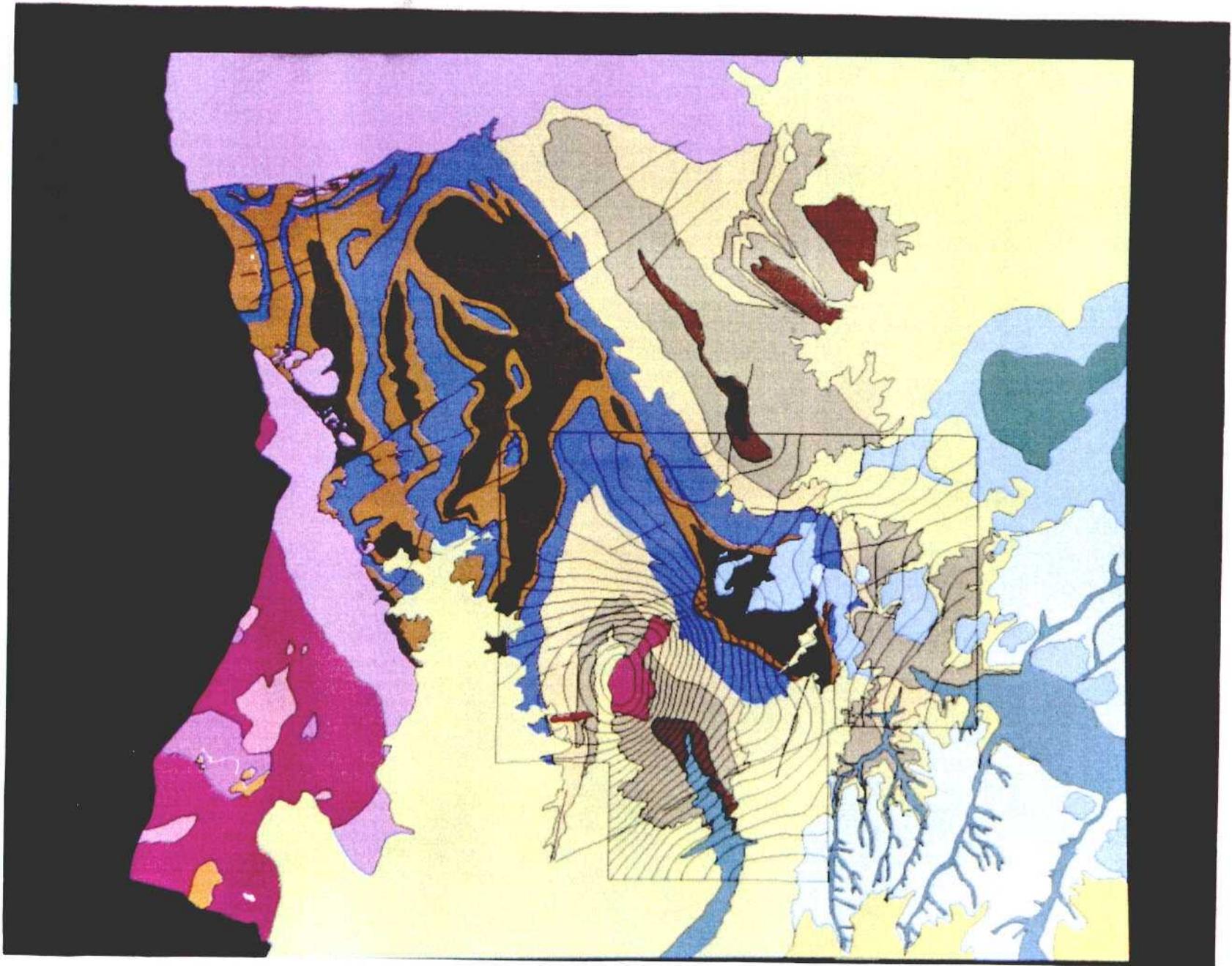


FIGURA 6.7D - CORRELACION ENTRE LA GEOLOGIA REGIONAL Y EL AREA CUBIERTA MEDIANTE GRAVIMETRIA (S.I.G.).

ANEXO A LOS CAPITULOS 4, 5 Y 6.

INTEGRACION DE DATOS: INTERPRETACION.

Carmen Anton-Pacheco, Pablo Gumiel y Rocio Campos (ITGE).

De la integración de datos de gravimetría, clasificación Landsat TM, y análisis de fracturas en el terreno, se han definido cuatro áreas (Fig. A1) que muestran una serie de características que pueden ser interesantes de cara a la exploración, y que a continuación se exponen brevemente:

- SECTOR DE GALLEGOS - En este área aflora un pequeño stock granítico de dos micas y caracter porfídico, datado como 284 ± 8 M.a. (García Garzón y Locutura, 1981), que intruye posteriormente a la segunda fase de deformación, y genera una aureola de metamorfismo de contacto en los materiales encajantes. Los suelos clasificados a partir de los datos Landsat TM se ajustan al trazado de dicha aureola, aunque hacia el suroeste, la inexistencia de estos campos se justifica por el recubrimiento de los materiales terciarios.

La anomalía de Bouguer negativa se correlaciona geológica y posicionalmente con dicho stock, coincidiendo además con el trazado de los campos clasificados. Esta anomalía, presenta una configuración bastante simétrica con gradientes muy semejantes en todas las direcciones excepto hacia el oeste. Por otra parte, existe una buena coincidencia espacial entre los datos anteriores y la anomalía aerorradiométrica de 3.2% Ke. (vuelo ENUSA; 1980) La conjunción de estos datos y su disposición espacial delimitan el área de influencia del granito, pudiendo tratarse de un cuerpo individualizado, quizá relacionado con un basamento granítico.

-SECTOR DE SEXMIRO - En este área se ha reconocido un lineamiento de dirección WSW-ENE, muy patente en la imagen Landsat PC312 (Fig.5.4). La existencia de este lineamiento estaría, en parte, corroborado por las inflexiones de las curvas del mapa de anomalías de Bouguer en el sector C (Figs.6.7a y b), que marcan una serie de lineamientos en esta misma dirección y que coinciden además con la dirección principal de fracturación de la zona (N70-80°E Fig.4.2), cuya representante principal es la Falla Grafitosa. Estas fallas estructuran la zona en bloques de dirección aproximada WSW-ENE, cuya importancia desde el punto de vista cinemático ha sido ya analizada (Capítulo 4), pudiendo representar amplios corredores estructurales que hayan favorecido el emplazamiento de los cuerpos graníticos.

- SECTOR DE SAELICES - Teniendo en cuenta que en el sector de Gallegos, tanto los campos clasificados como las trazas de las curvas del mapa de anomalías de Bouguer, se disponen alrededor del stock granítico, en el área de Saelices podría existir otro cuerpo ígneo subaflorante, cuyos efectos producidos en los materiales encajantes son más difíciles de precisar. Esto es debido a que cualquier posible efecto térmico producido por un intrusivo puede estar enmascarado por el metamorfismo regional, y por la existencia de un retrometamorfismo, que dificulta aún más, en los estudios petrográficos, reconocer las rocas que han sido sometidas a metamorfismo de contacto. El estudio detallado de los diferentes procesos metamórficos que actúan en el área, queda fuera de los objetivos de este proyecto.

Los campos clasificados se localizan además en la prolongación del lineamiento de Sexmiro. En este esquema, se podrían explicar los campos clasificados en este área, lo que unido a la existencia de valores aerorradiométricos medios - altos de K, (2.2% y 1.9% Ke) sugieren la presencia de un cuerpo granítico subaflorante, que debería ser confirmado mediante otros métodos.

- AREA DE BARQUILLA - Finalmente, al norte de este lineamiento, y en los alrededores de Barquilla, la información Landsat TM muestra la existencia de numerosos campos clasificados (Fig.5.10). Aunque la respuesta espectral TM de estos campos es la misma que la que aparece en el área de Gallegos, su interpretación es más difícil de precisar. Por una parte, La confirmación petrológica de que las rocas encajantes hayan sufrido efectos de metamorfismo térmico es difícil de establecer, por las razones expuestas anteriormente en el sector de Saelices. Sin embargo, en algunas rocas sí se han observado efectos atribuibles a metamorfismo de contacto (al oeste y norte de Barquilla y al este de Martillan, lo que corroboraría la posible existencia de un basamento granítico cercano. Esta hipótesis estaría en parte apoyada por la existencia de valores aerorradiométricos de K (1.7-1.9% Ke) dispersos. Desde el punto de vista de la exploración, se trata de un área de interés debido a las numerosas anomalías de U medidas sobre el terreno.

Area de Ciudad Rodrigo

I.T.G.E. - S.I.G.

Coordenadas:

Norte: 4505001
Sur: 4493000
Este: 705000
Oeste: 692000

Escala 1: 60000

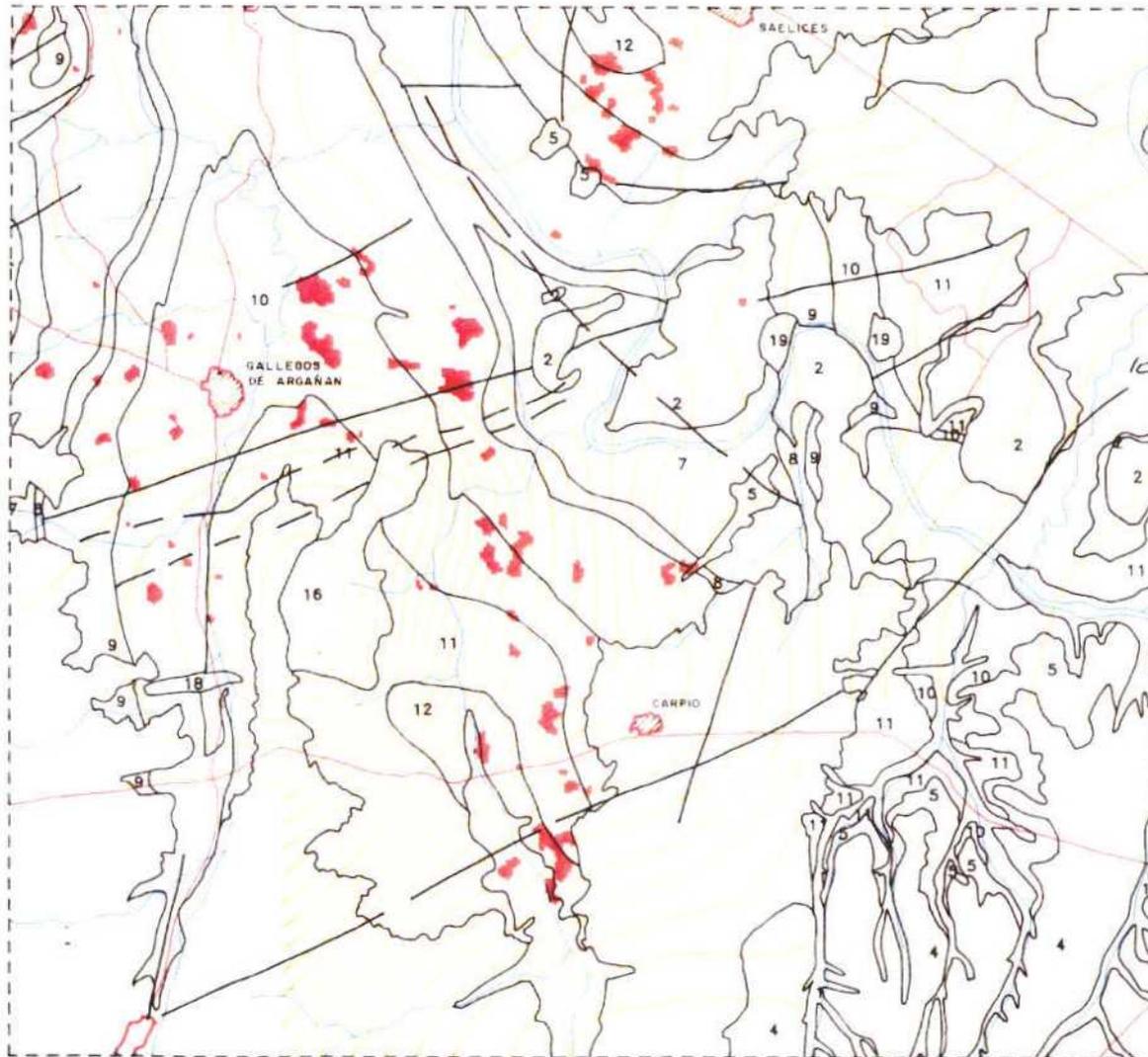
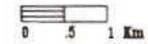


FIGURA A1 - MAPA DE INTEGRACION DE DATOS DE LA ZONA DE GALLEGOS DE ARGANAN.

REFERENCIAS

ANTON-PACHECO, C., ROWAN, L.C., PAYAS, A., BEL-LAN, A., KINGSTON, M.J., RIAZA, A., & BRICKEY, D.W., :1988. "The use of supervised Bayesian classification on Landsat digital Thematic Mapper data to map contact metamorphic rocks around the Trujillo and Plasenzuela plutons, Extremadura, Spain". II European Workshop on Remote Sensing in Mineral Exploration. CEE.REP. EUR 11317 EN-FR. pp 469-906.

BELLO, V., CRIADO, M., y RIOS, J.M., :1988. " Análisis de los resultados obtenidos con voladuras en banco de 3 y 6 m. en Mina Fé". VIII Cong. Int. Min. Met., Oviedo, 2. pp:209-231.

BOSTICK, N.H. y PAWLEWICZ, M.J: 1984."Paleotemperatures based on vitrinite reflectance on shales and limestones in igneous dike aureoles in the Upper Cretaceous Pierre Shale, Walsenburg, Colorado". In Rocky Mountain Assn. Geol., J.Woodward, F.Meissner and J.L.Clayton (Eds): 387-392.

GARCIA GARZON, J. Y LOCUTURA, J: 1981. "Datación por el método Rb/Sr de los granitos de Lumbrales - Sobradillo y Villar del Ciervo - Puertu Segura". Bol. Geol. Min, t-42,I. pp 68-72.

GUMIEL, P: 1990. (Ed). Final report of the Alburquerque-La Codosera Area: "Development of new multidisciplinary techniques for mineral exploration in several areas of the western Iberian Peninsula". MAIH-032-C

HAMMER, R: 1939. "Terrain corrections for gravimeter stations". Geophysics IV pp 184-209.

I.T.G.E.: (En prensa). "Memoria mapa geológico a escala 1:50000 de la hoja 525 (Ciudad Rodrigo)".

I.T.G.E: 1990." Gravimetria en Mina Fe (Ciudad Rodrigo-Salamanca). Trabajos geofísicos de apoyo a minería. Inf. Interno.

MARTIN-IZARD, A.: 1985. "El origen de los yacimientos de Uranio en las pizarras del Complejo Esquisto Grauváquico. Tesis Doctoral. Univ. de Salamanca. 365p.

NEUMAN, R: 1963 "Contribution and calcul simplifie des corrections de relief a grande distance a gravimetrie". Geoph. Prosp. XI-4 pp 523-534.

ROWAN, L.C., et al,: 1987. "Digital classification of contact metamorphic rocks in Extremadura, Spain, using Landsat Thematic Mapper data". Geophysics. 52,7: pp. 885-897

ROWAN, L.C., et al,: (En prensa). "Evaluation of visible, near infrared an thermal-infrared reflectance spectra for studying thermal naturity of Pierre Shale, Wolcott, Colorado.

7. GEOFISICA HELIPORTADA MULTIMETODO (Javier Arnaiz de Guezala, ENUSA)

7.1. Características de la campaña

A modo de prueba se realizó sobre una superficie de 390 Ha del Entorno Mina Fe una campaña de geofísica heliportada incluyendo un sistema electromagnético multifrecuencia y multigeometría, magnetómetro de alta sensibilidad y VLF, la altura de vuelo fue de 60 m con el VLF 10 m por debajo del helicóptero, el magnetómetro a 15 m y el sistema electromagnético a 30 m. El posicionamiento es por triangulación electrónica mediante varios transponders en puntos dominantes y coordenadas conocidas.

La altimetría se hizo por partida doble; altimétrica y por radar. La separación entre los emisores receptores de E.M. es de 7 m.

Se volaron 170 km.l en líneas de vuelo reparadas 100 m y con dirección N-S, como comprobación en la zona NW se volaron 27 km.l con separación 200 m y dirección E-W.

El objetivo de la campaña fue definir unidades de distinta naturaleza en zonas recubiertas, espesor del recubrimiento, identificación de fracturas y discontinuidades, etc. Es en este aspecto de carácter cartográfico donde las aplicaciones futuras de estas técnicas parecen más prometedoras.

7.2. Interpretación

Para llevar a cabo una correlación de los distintos parámetros geofísicos obtenidos con los rasgos geológicos conocidos o bien interpretables, se ha utilizado una cartografía geológica a la misma escala que los distintos planos geofísicos disponibles (fig. 7.1.).

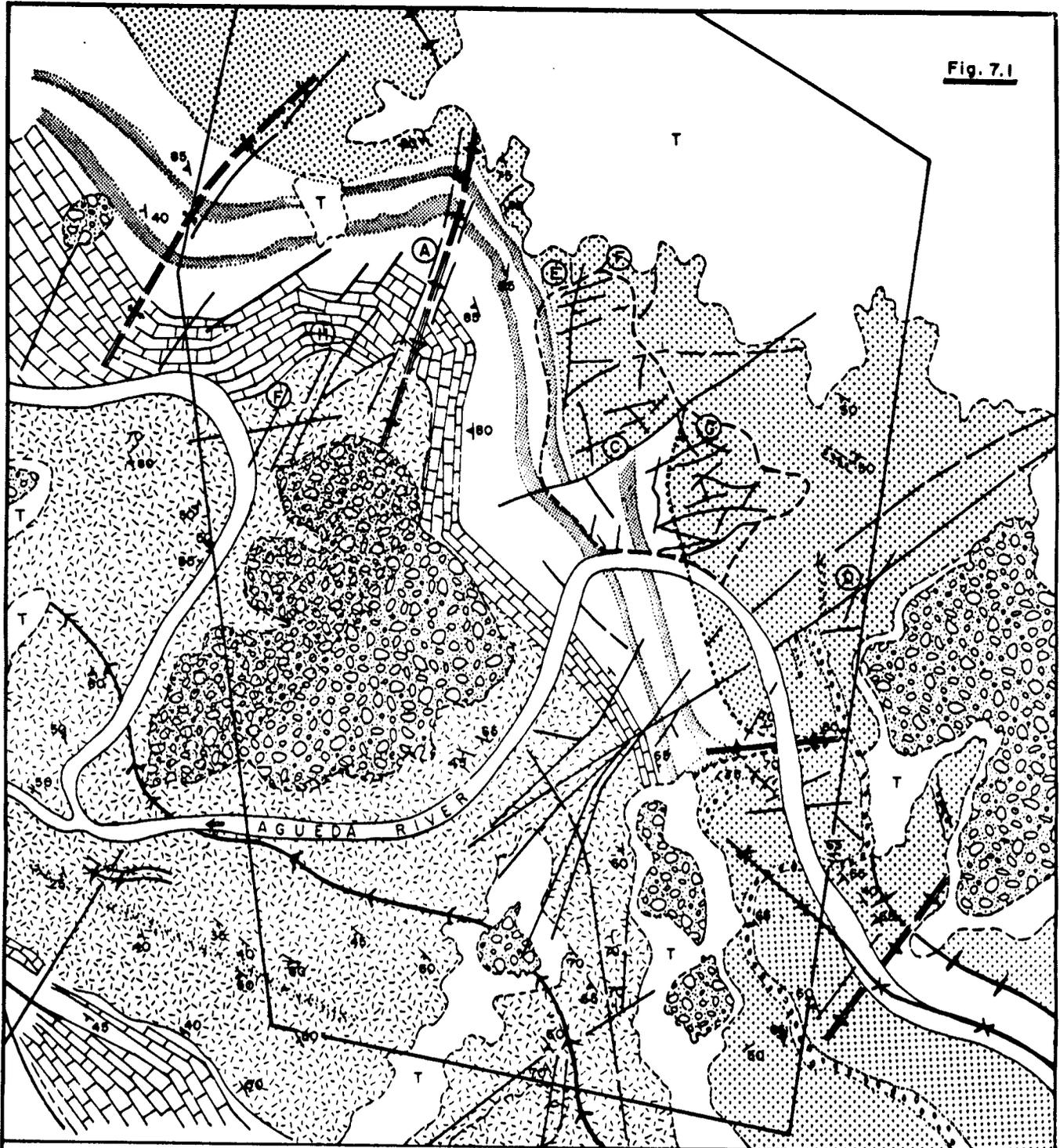
Esta cartografía se realizó sobre una fotorestitución a esta escala. Asimismo con posterioridad al vuelo se han comprobado los rasgos geológicos más importantes deducidos del mismo. En la zona de MINA FE (mina a cielo abierto) se ha utilizado la cartografía detallada de la fracturación, realizada por el Servicio de Geología de Mina (ENUSA).

7.2.1. Litología; Estructura

El plano con isolíneas de campo magnético total (C.M.T.) da una visión general de la geología del área (ver fig. 7.2.).

Básicamente se deduce, eliminando recubrimiento y zona alterada, un conjunto formado por una unidad de alto relieve magnético (calcosilicatada y/o cuarcítica) que forma un arco con abertura hacia el SW, dividido en tres o cuatro segmentos separados por estrechas zonas de bajos magnéticos. Si se compara con la cartografía y fracturación, estos bajos corresponderían a fallas de direcciones aproximadas NE-SW, en general de corto recorrido. Las zonas de bajo campo magnético en el centrooeste, corresponderían a materiales pelíticos y ampelíticos del núcleo de la estructura.

Las direcciones, aproximadamente E-W, de valores altos de campo magnético, localizadas en el noroeste del área,



LEGEND

- | | | | | | | | |
|--------------------|--|--|--------------------|---|--|---------------------------------|---------------------------------|
| TERCIA | | Quaternary deposits (raña) | PRECAMBRIAN | | -Quartz-sericitic slate levels, quartzites and subarkosic conglomerates. | | 1 st Phase anticline |
| | | -Arkosic levels (granitic fans) | | | -Carbonaceous slate levels, sericitic slate and quartzites. | | |
| PRECAMBRIAN | | -Calc-silicate level (impure carbonates, amphibolic quartzites and amphibolites) | | Quartzite levels, striped slates and polymictic microconglomerates. | | 2 nd Phase anticline | |
| | | Fault | | Inferred fault | | | Normal contact |
| | | Discordant contact | | Late phase axis | | | |
| | | (Si Strike and dip) | | | | Fault | |

FE Open pit.



SCALE.

0 200 400 600 800 1.000 Mts.

FIGURA 7.1- CARTOGRAFIA GEOLOGICA DE DETALLE DE LOS ALREDEDORES DE LA MINA FE.



FIGURA 7.2- GEOFISICA HELIPORTADA. CAMPO MAGNETICO TOTAL.

<p>Fecha: 1986</p> <p>Escala: 1:50,000</p> <p>Proyecto: ...</p>	<p>Magnética: ...</p> <p>Intensidad: ...</p> <p>Resolución: ...</p>	<p>EM Aerogeofísica</p> <p>...</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="893 1859 1015 1927"> </td> <td data-bbox="1023 1859 1445 1927"> EMPRESA NACIONAL DE ORO Y PLATA INTERCOMERCIO MINERO DE ORO Y PLATA DE COLOMBIA </td> </tr> <tr> <td data-bbox="893 1939 1015 2007"> </td> <td data-bbox="1023 1939 1445 2007"> DIVISION DE RECURSOS MINERALES MINISTERIO DE RECURSOS MINERALES (CRA-340-87) </td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="893 2007 1445 2075"> CAMPO MAGNETICO TOTAL </td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="893 2075 1445 2086"> PLANO No. 3 </td> </tr> </table>		EMPRESA NACIONAL DE ORO Y PLATA INTERCOMERCIO MINERO DE ORO Y PLATA DE COLOMBIA		DIVISION DE RECURSOS MINERALES MINISTERIO DE RECURSOS MINERALES (CRA-340-87)	CAMPO MAGNETICO TOTAL		PLANO No. 3	
	EMPRESA NACIONAL DE ORO Y PLATA INTERCOMERCIO MINERO DE ORO Y PLATA DE COLOMBIA										
	DIVISION DE RECURSOS MINERALES MINISTERIO DE RECURSOS MINERALES (CRA-340-87)										
CAMPO MAGNETICO TOTAL											
PLANO No. 3											

corresponden a las direcciones conocidas de S_0 en el terreno, que cambian a dirección N-S en MINA FE y en la zona al sur del río Agueda. Estos rasgos coinciden con la figura obtenida en la cartografía por superposición del flanco NE invertido del anticlinorio de primera fase con una deformación, posiblemente de 3ª fase dando una estructura con eje aproximadamente NE-SW.

En el borde centro-este del área (lado este del meandro), se observa un cambio en la dirección N-S de la zona de alto C.M.T. y un dipolo, que coinciden y confirman la presencia de una estructura E-W de segunda fase.

Esta visión general basada en los contrastes de un parámetro característico como es la susceptibilidad magnética se complementa con el plano de resistividades aparentes (R.A.).

En nuestro caso concreto hemos operado con el obtenido con dispositivo coplanar y frecuencia de 32.000 Hz, representativo de un rango muy somero de profundidad (fig. 7.4.). En él se observa una estructuración similar a la que refleja el de C.M.T.

La figura que dibujan los niveles calcosilicatados, en el centro y noroeste, aparece sin embargo, más detallada en el plano R.A. al igual que la estructura E-W de 2ª fase en el borde centro-este del plano.

En esta última destacan con claridad zonas resistivas que corresponden a niveles de metaarcosas y conglomerados.

En el plano que comentamos, aparece un nuevo rasgo, que consiste en la presencia de amplias zonas conductoras (menos de 60 Ω m) en el norte, nordeste, centro-oeste y sur del área. Estas zonas si se correlacionan con la geología coinciden, muy exactamente, con recubrimientos terciarios y pliocuaternarios conductores y bajo los cuales los esquistos están alterados.

7.2.2. Interpretación tectónica; Fracturación

Fracturación NE-SW

Dentro de esta familia de fracturas ya mencionada en la interpretación de la estructura se sitúan las que se comentan a continuación:

La señalada con A en la fig. 7.1. y conocida en el terreno, corresponde en el C.M.T. a una alineación de alto-bajo campo magnético y alineación de máximos en el Gradiente Magnético Vertical (G.M.V.) (fig. 7.3.). En los planos de R.A. especialmente en el dispositivo coplanar (32.000 Hz) se observa una zona de baja resistividad relativa. Asimismo aparecen al menos dos anomalías de E.M. en esta fractura.

También dentro de esta familia se podría clasificar el importante conjunto de fallas C, bien conocidos en MINA FE y que aparecen claramente tanto en el C.M.T. como G.M.V. como alineación de altos bajos del campo magnético, así como en los

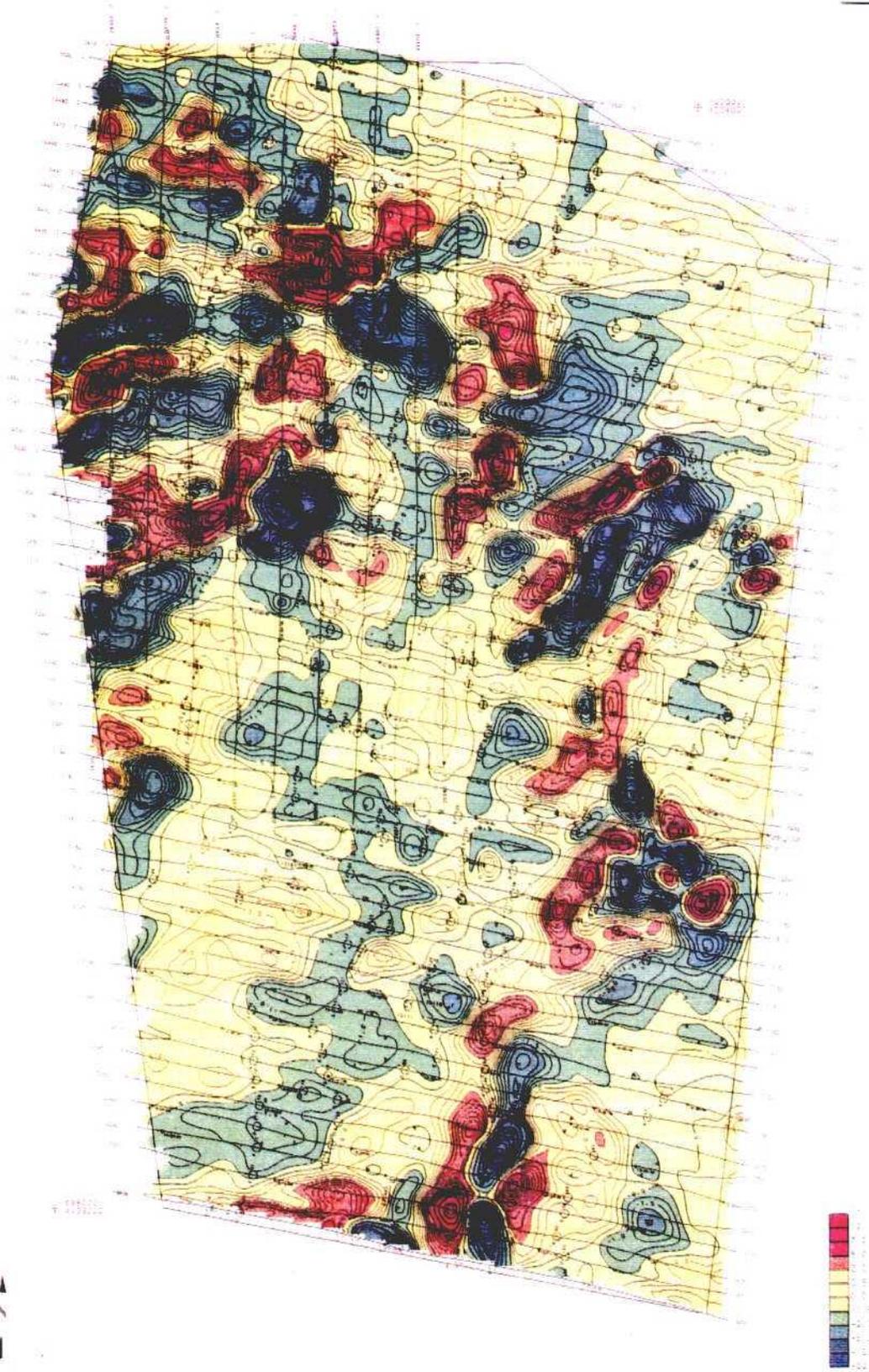


FIGURA 7.3- GEOFISICA HELIPORTADA. GRADIENTE MAGNETICO VERTICAL.

<p>Projeto Geofisico 1:50,000 1980</p>	<p>Vertical Magnetic Gradient 1980</p>	<p>EM 2000-10</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="917 1882 1039 1939"> </td> <td data-bbox="1047 1882 1364 1939"> EMPRESA NACIONAL DE PETROLEO S.A. - ENPES DEPARTAMENTO DE EXPLORACION </td> <td data-bbox="1372 1882 1469 1939"> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="917 1950 1039 2007"> </td> <td colspan="2" data-bbox="1047 1950 1469 2007"> TRACADO DE MAGNETICO VERTICAL 1980 </td> </tr> <tr> <td data-bbox="917 2018 1039 2075"> 1:50,000 </td> <td data-bbox="1047 2018 1364 2075"> BRAD ENTE MAGNETICO VERTICAL </td> <td data-bbox="1372 2018 1469 2075"> PLANO No. 4 </td> </tr> </table>		EMPRESA NACIONAL DE PETROLEO S.A. - ENPES DEPARTAMENTO DE EXPLORACION			TRACADO DE MAGNETICO VERTICAL 1980		1:50,000	BRAD ENTE MAGNETICO VERTICAL	PLANO No. 4
	EMPRESA NACIONAL DE PETROLEO S.A. - ENPES DEPARTAMENTO DE EXPLORACION											
	TRACADO DE MAGNETICO VERTICAL 1980											
1:50,000	BRAD ENTE MAGNETICO VERTICAL	PLANO No. 4										



FIGURA 7.4- GEOFISICA HELIPORTADA.
RESISTIVIDAD APARENTE -
DISPOSITIVO COPLANAR. FRECUENCIA 32000 Hz.

<p>PROYECTO: ...</p> <p>FECHA: ...</p> <p>...</p>	<p>...</p> <p>...</p> <p>...</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="893 1859 1006 1927"> </td> <td data-bbox="1023 1859 1412 1927"> <p>...</p> </td> <td data-bbox="1331 1859 1396 1927"> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="893 1939 1006 2007"> </td> <td colspan="2" data-bbox="1023 1939 1412 2007"> <p>...</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="3" data-bbox="1023 2007 1412 2063"> <p>RESISTIVIDAD APARENTE D. 9708 T. 1.00 COPLANAR FRECUENCIA 32000 Hz</p> </td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="1023 2041 1347 2063"> <p>...</p> </td> <td data-bbox="1356 2041 1412 2063"> <p>...</p> </td> </tr> </table>		<p>...</p>			<p>...</p>		<p>RESISTIVIDAD APARENTE D. 9708 T. 1.00 COPLANAR FRECUENCIA 32000 Hz</p>			<p>...</p>		<p>...</p>
	<p>...</p>													
	<p>...</p>													
<p>RESISTIVIDAD APARENTE D. 9708 T. 1.00 COPLANAR FRECUENCIA 32000 Hz</p>														
<p>...</p>		<p>...</p>												

dos planos de resistividades como una banda que representa una ruptura en la distribución de isolíneas. Dentro de esta alineación aparecen al menos cinco anomalías de E.M.. También aparecen netas estas familias de fallas en el plano de VLF, emisor FUO (fig. 7.6.).

Otra zona de falla importante y bien localizada al NE del río Agueda (D en fig. 7.1.) no parece evidente sin embargo en el C.M.T., aunque sí se insinúa en el G.M.V., y no se perfila en los planos de R.A. quizás por coincidir con litologías bastante resistivas al NE del río y con el límite del recubrimiento al SW.

Fracturación N-S

Esta familia de fracturas siguen, en general, la dirección de los pliegues de 1ª fase en MINA FE y al Sur del río Agueda.

Dentro de esta familia se pueden clasificar las fallas E y F situadas en la parte Norte de MINA FE, la E aparece bastante neta en el C.M.T. y el G.M.V. así como en los planos de R.A., también parece corresponder, con un ligero desplazamiento, a una alineación de cuatro anomalías de E.M.

La F también parece insinuarse en estos planos aunque con menos claridad.

También en el área de MINA FE y justo al Norte del río aparece otra alineación clara de anomalías de E.M., da una zona conductiva en los planos de R.A. y en el plano de VLF aparece como un alto relativo.

Fracturación E-W

En la zona F (N-S) aparecen una serie de fallas en MINA FE de dirección ENE-WSW que se pueden diferenciar en el C.M.T., G.M.V., aunque no son evidentes en los R.A. por estar las fallas enmascaradas por el Terciario (conductor) ni por supuesto en el VLF por tratarse del emisor FUO utilizable únicamente en la detección de estructuras de componente norte.

La fractura denominada H, pudiera estar mal localizada en la cartografía, correspondiente quizás a la alineación del C.M.T. próximas a ella desplazada hacia el Sur, que también tiene un cierto contraste en los planos de R.A., aunque tal vez la distribución de isolíneas no es la más adecuada para su resolución.

La lineación de C.M.T. marcada con I y no conocida en el terreno puede tener un cierto interés y debe ser por lo tanto objeto de comprobación; tiene un cierto reflejo en el G.M.V. y de alguna forma en el VLF. Sin embargo su posible asociación con anomalías EM no es muy coherente.

7.2.3. Falsas anomalías

Es de tener en cuenta el efecto que ciertos objetos o

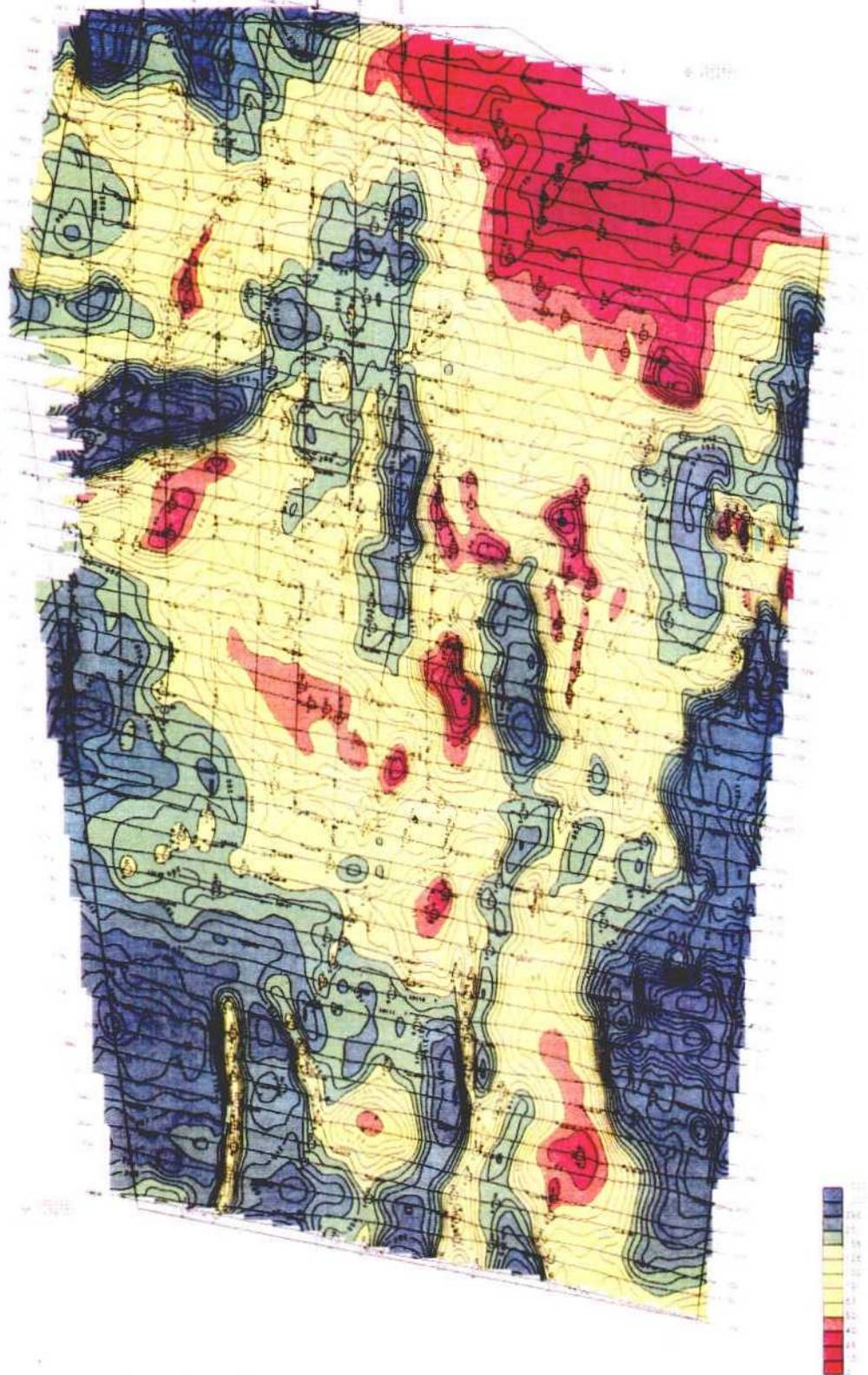


FIGURA 7.5- GEOFISICA HELIPORTADA. RESISTIVIDAD APARENTE. DISPOSITIVO COAXIAL. FRECUENCIA 4600 HZ.

<p>Project Name: _____</p> <p>Apparent Resistivity: _____</p> <p>Map Scale: _____</p>	<p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="860 1848 1023 1927"> <p>EGS</p> </td> <td data-bbox="1023 1848 1453 1927"> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="860 1927 1023 1995"> <p>AERODAT LIMITED</p> </td> <td data-bbox="1023 1927 1453 1995"> </td> </tr> <tr> <td colspan="2" data-bbox="860 1995 1453 2097"> <p>RESISTIVIDAD APARENTE DISPOSITIVO COAXIAL. FRECUENCIA 4600 HZ.</p> <p>PLANO N° _____</p> </td> </tr> </table>	<p>EGS</p>		<p>AERODAT LIMITED</p>		<p>RESISTIVIDAD APARENTE DISPOSITIVO COAXIAL. FRECUENCIA 4600 HZ.</p> <p>PLANO N° _____</p>	
<p>EGS</p>								
<p>AERODAT LIMITED</p>								
<p>RESISTIVIDAD APARENTE DISPOSITIVO COAXIAL. FRECUENCIA 4600 HZ.</p> <p>PLANO N° _____</p>								

instalaciones artificiales pueden ejercer sobre los campos electromagnéticos, que dan anomalías muy netas y que es importante desechar.

En nuestro caso se han localizado varias anomalías de esta clase. En la zona noroeste y en el plano de VLF se obtuvieron dos máximos que cruzan toda el área con dirección NE-SW y que coinciden con sendos caminos bordeados por cercas de alambre.

Sin embargo el efecto es mínimo en el plano de R.A. con dispositivo coaxial y 4.600 Hz (fig. 7.5.). Posiblemente por coincidir los caminos con zonas topográficamente altas de recubrimiento Terciario (conductor). En este último plano aparecen muy netos, al Sur del río Agueda tres estrechos conductores de dirección aproximada N-S que son producidos por sendos alambrados. Estos alambrados parecen también afectar, si bien, levemente a el VLF.

Como dato importante, hay que hacer notar que estas falsas anomalías desaparecen casi completamente en el plano de R.A. con dispositivo coplanar y 32.000 Hz.

7.2.4. Conclusiones

El presente trabajo se planteó como un ensayo de la aplicación de métodos aeroportados integrados para abordar tres objetivos principales, todos ellos con carácter de cartografía geológica.

Se pretendió determinar la capacidad resolutive de esta técnica respecto a los siguientes objetivos:

- Identificación de zonas de fractura.
- Diferenciación litológica en zonas recubiertas.
- Distribución del recubrimiento Terciario.

Los datos obtenidos hasta el momento constituyen una primera etapa que habrá de ampliarse necesariamente en lo que respecta a una interpretación en la medida que progresen las tareas actualmente en curso; principalmente sondeos mecánicos, trabajos geofísicos de tierra y cartografía de detalle.

En los planos obtenidos existen una serie de rasgos y alineaciones suficientemente atractivos por el momento, pero a los que todavía no se ha dado sentido geológico por falta de datos de control.

Desde la fundada esperanza de que estas técnicas son capaces de resolver los objetivos planteados debe hacer una consideración final en lo que respecta a la relación coste/información. Para una campaña media del orden de 1.000 km de perfil el precio unitario del conjunto de métodos utilizados es del orden del 10-15 % respecto a técnicas convencionales de resistividad por cc en superficie.

7.3. Comparación con métodos geofísicos de tierra

En la fig. 7.7. se adjunta un plano con isolíneas de igual resistividad obtenidas por el método de calicatas eléctricas (C.R.) sobre el terreno, con dispositivo Schlumberger simétrico y AB=85 m, MN=5 y perfiles cada 40 m. Estas campañas se han realizado sobre los yacimientos FE y D por JEN-ENUSA.

Si se compara este plano con los de R.A., GMV y VLF se puede observar que la información obtenida en estos últimos es similar a la proporcionada por la fig. 7.7., con la diferencia del detalle que lógicamente es mayor en este último. Así todos los rasgos tanto litológicos como de fracturación obtenidos por contactos de resistividades se mantienen.

La conclusión que se puede sacar es inmediata; La geofísica heliportada a esta malla es un método muy útil para campañas en las que se pueden obtener información bastante detallada sobre áreas extensas, consiguiendo así una información geofísica de conjunto. Del estudio de estos datos se puede obtener una información similar a las de los geofísicos de tierra, así el empleo de estos últimos se puede limitar a pequeñas superficies favorables en la heliportada.

Esta sistemática puede llevar a un ahorro en costes geofísicos ya que los costes de los métodos heliportados suponen un 10-15 % de por ejemplo el de geofísica de calicatas eléctricas.

La diferencia en rendimientos en ambos métodos es lógicamente muy grande, así con C.R. se puede llegar a 1 kml/día (perfiles cada 40 m) mientras que con la heliportada se pueden conseguir rendimientos de 150 kml/día (perfiles cada 100 m).

REFERENCIAS

- Report on combined helicopterborne, electromagnetic and VLF survey in mina FE area, Spain-CGS-AERODAT, 1988.
- Tendencias actuales en el empleo de métodos geofísicos aeroportados, Ensayo piloto en el área de Mina FE, Salamanca; VIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MINERIA Y METALURGIA, Oviedo, 1988. Arnaiz J., Granda A.; (1988).



Fig. 7.7

FIGURA 7.7- GEOFISICA TERRESTRE. ISOLINEAS DE RESISTIVIDAD (CALICATAS ELECTRICAS)

8. LITOGEOQUIMICA AREA MINA FE

(*Arnaiz de Guezala J., **Arribas Moreno A., *Cerdá Miralles J., **Martín Izard A.)

8.1. Introducción

El objeto del estudio geoquímico ha sido comprobar si, junto con la deposición de los materiales más o menos ricos en materia carbonosa, se produjo en algunos niveles de éstos, un enriquecimiento parcial en elementos metálicos, particularmente U. Esto permitiría establecer que las rocas metasedimentarias habrían podido ser la fuente del uranio que dió lugar a las mineralizaciones filonianas existentes en el C.E.G. con la consiguiente aplicación práctica a la hora de la prospección de este elemento.

Para la verificación de esta hipótesis y poder establecer una sistemática de trabajo a la hora de la realización de los correspondientes desmuestres geoquímicos, Arribas et al (1985), Martín Izard (1989) y Martín Izard et al (1986), realizaron una serie de estudios previos, tanto sobre muestras de superficie como sobre sondeos. Como resultado de estos trabajos, los autores antes mencionados concluyeron que un desmuestra geoquímico sistemático del C.E.G. con muestras de superficie era representativo del comportamiento y contenidos del uranio en los metasedimentos y que por tanto se podría poner de manifiesto su fertilidad y si podrían ser la fuente del U. También se comprobó que, en general, el contenido medio en Uranio era mayor en las rocas de carácter ampelítico, existiendo muestras con altos contenidos en U, y perteneciendo casi todos ellos a filitas ampelíticas.

Desde el punto de vista de los sondeos a priori parecen ser los más interesantes puesto que la roca no ha estado sometida a procesos de alteración, por lo que se decidió dar mayor importancia al desmuestra de éstos.

En base a estos datos, se ha realizado un estudio geoquímico sistemático sobre muestras de superficie y sondeos, tomándose 611 de los primeros y 282 de sondeos, habiéndose separado estos en dos grupos, uno de 182 y otro de 100 muestras.

Los primeros se tomaron todos ellos en la zona de Marialba, mientras que de los segundos se hizo en el entorno de Mina FE. Por todo ello, y también porque sólo en 115 muestras de los primeros se analizó el carbono orgánico, su estudio estadístico se ha hecho por separado.

8.2. Métodos analíticos

Determinaciones de Uranio total lábil y Torio

Estos análisis han sido realizados por el Laboratorio de Mina FE (ENUSA, Ciudad Rodrigo). El método utilizado ha sido espectrofotometría con Arsenazo III.

En medio ácido HCL(3,6 M) las especies U(IV), Th(IV) y Zr forman un complejo quelato cuya absorbancia medida a 665 mm es lineal con la concentración de uranio y torio. El sistema utilizado es por inyección en flujo, la interferencia debida al circonio se elimina

* ENUSA

** Universidad de Salamanca

por la adición de oxalato. La disolución se efectúa en medio ácido oxidante, $\text{HNO}_3(\text{C})$ durante 2 horas, en placa calefactora para el uranio total y $\text{HNO}_3(\text{L})$ en baño maría para el uranio lábil. El uranio disuelto como U(VI) se reduce a U(IV), estado de valencia en que forma complejo con Arsenazo (III).

Determinaciones de carbono total y carbono en forma de carbonatos

Análisis también realizados por el Laboratorio de Mina FE. La determinación de carbono total se ha realizado por analizador LECO, que se fundamenta en la oxidación total por combustión y detección por infrarrojos.

El carbono en forma de carbonatos, se ha determinado por pérdida de peso por desprendimiento de CO_2 al atacar con ácido (sulfúrico y perclórico).

El contenido en carbono orgánico se ha calculado por diferencia.

Determinación de elementos mayores y trazas

Análisis realizados por A. Martín Izard y A. Arribas Rosado en el Instituto de Geología Aplicada de la Universidad de Salamanca y en el Departamento de Edafología de la Universidad de Santiago de Compostela. El método analítico fue de fluorescencia de rayos X por energía dispersiva, utilizando un equipo Quebex 7.000.

Se utilizó roca molida mezclada con celulosa al 15 % en peso y pastillada en seco en prensa hidráulica.

La sistemática de trabajo ha sido la introducción de las pastillas en el equipo de fluorescencia previamente calibrado por medio de los patrones estandar internacionales y utilizando el método del Compton.

Se consideraron como válidas aquellas rectas de calibración con valores del coeficiente de correlación superiores a 0,95, siendo éste en la mayor parte de los casos superior a 0,99.

8.3. Resultados del Estudio Geoquímico

8.3.1. Muestras de superficie

Para la confección de la fig. 8.1. se han eliminado los valores anómalos muy altos ($U_{\text{total}} > 57$ ppm) pues podrían deberse a contaminaciones.

El contenido medio en U es de 4,58 ppm, del cual aproximadamente la mitad es lábil, y en carbono orgánico (Corg) de 0,35 %.

Los contenidos en los otros elementos así como sus desviaciones y valores máximos y mínimos quedan reflejados en la fig. 8.1 .

Mediante la matriz de correlación se obtiene que entre U_{total} y lábil existe una muy buena correlación, la mitad es fácilmente movilizable. Por lo que respecta al Corg con el U_{total} existe una moderada correlación (0.33). El resto de

valores de correlación entre elementos quedan reflejados en la fig. 8.2 .

En el análisis factorial, el factor 2, con un porcentaje de participación del 20.5 confirma la relación que ya se había observado entre Uttotal y Corg, así como de estas clases con el S. El factor 1, con un porcentaje del 25,7 relaciona bastante bien los contenidos en Fe, Ti, Zn, Cu y Ni.

Haciendo el mismo tratamiento estadístico con aquellas muestras que tienen carácter ampelítico se ha podido comprobar que aumentan los contenidos en Uttotal y, lógicamente en Corg (fig. 8.5).

Los coeficientes de correlación entre Uttotal y Corg que disminuyen respecto a la población total (fig. 8.6) son, sin embargo, superiores en el análisis factorial utilizando el factor 2 con un porcentaje de participación del 21.2 (fig. 8.7), donde la correlación entre Uttotal y Corg es significativa (0,79 y 0,47).

En la fig. 8 se muestra un diagrama binario relacionando estos dos elementos.

Realizando el histograma logarítmico del Uttotal se pone de manifiesto la existencia de unas familias anómalas en este elemento, con valores medios en Uttotal de 13.11 ppm (fig. 8.9).

En su conjunto, estas familias anómalas representan el 26 % de la población total.

8.3.2. Muestras de sondeos (primer desmuestre, Marialba)

Los contenidos medios en Uttotal son de 5,44 ppm y 0,44 % de Corg quedando el resto de valores reflejado en la fig. 8.10 .

Aunque hay muy buena correlación entre Uttotal y Ulábil no se observa en la matriz de correlación ninguna relación entre Uttotal y Corg (fig. 8.11). Asimismo, al hacer el análisis factorial, no se observa ningún factor de correlación entre estos dos elementos (fig. 8.12). *de*

Sin embargo, al realizar el diagrama binario para el total de muestras con Corg analizado se aprecia que hay 6 valores muy extremos que enmascaran toda posible correlación (fig. 8.13a) llegando a hacer ésta incluso negativa. Eliminando estos valores con comportamiento aberrante (cortes Uttotal \leq 30 y Corg \leq 1) se obtiene (fig. 8.13b) una correlación para Uttotal-Corg buena (0,675), por lo que si parece que existe una relación entre los contenidos en materia orgánica (carácter ampelítico) y U.

Al hacer el tratamiento estadístico de las litologías de carácter carbonoso, los resultados obtenidos son los siguientes (fig. 8.14).

El contenido medio en U_{total} es de 7,95 ppm y el Corg de 0,53. Curiosamente, vuelve a repetirse lo obtenido con todas las muestras, es decir hay una correlación negativa entre U_{total} y Corg (fig. 8.15) lo que se debe a las mismas causas que en el caso anterior. Por ello, y eliminando las mismas muestras se obtiene una buena correlación entre U_{total} y Corg (0,65). El análisis factorial confirma estos resultados estando ambos elementos relacionados por el factor 1, con un porcentaje del 33,4, dando unos valores de 0,63 y 0,90 (fig. 8.16)

En el diagrama binario (fig. 8.17) se puede observar claramente lo expuesto en el punto anterior.

En general los sondeos de la zona de Marialba ponen de manifiesto una buena relación entre los contenidos de U y C orgánico, la relación U_{total} a $U_{lábil}$ se sitúa en torno al 60 %.

8.3.3. Sondeos del entorno de Mina FE

Destaca de estos sondeos que, aunque su contenido medio en U_{total} es superior a los de la otra zona, disminuye el de $U_{lábil}$, siendo inferior y teniendo una relación U_{total} a $U_{lábil}$ del 40 % (alrededor de un 20 % menos que los anteriores). Ni la matriz de correlación ni el análisis factorial dan ningún resultado que pueda ser significativo, existiendo una falta de relación que se confirma al hacer el diagrama binario $U_{total}/Corg$.

Eliminando las muestras con altos contenidos en U y que podrían deberse a contaminación externa, (corte a 17 ppm de U_{total}) se obtiene un diagrama (fig. 8.20b) en el cual se pueden observar claramente 3 familias de muestras, de las cuales, una sería la población normal (a) por comparación con los datos obtenidos en los sondeos anteriormente descritos.

Las otras dos familias serían muestras deprimidas en U, una con unos contenidos ligeramente menores (b) y las otras contenidos excesivamente bajos en U(C) (fig. 8.20b). Por lo que respecta a esta última (con 6 muestras) se comprobó que todos ellos, junto con algunas de la familia (b) estaban tomadas en un mismo sondeo, el 8E34S. Al estudiar la columna levantada durante la testificación del sondeo en el año 1988, se vió que todas las muestras tipo (c) estaban tomadas en zonas de brechas y 3 de ellas coincidían o estaban próximas a fracturillas grafiticas (fig. 8.25).

Por lo que respecta a las muestras tipo (b) estaban próximas a brechas, todo ello podría significar que el uranio contenido en los esquistos brechificados y grafitizados habría sido extraído de la roca, de ahí su escasez, mientras que en zonas próximas a las brechas y fracturas, aunque también se podría haber extraído parte a favor de microfracturas, todavía podría quedar algo en la roca.

Eliminando todas las muestras pertenecientes a este sondeo que pudieran enmascarar los resultados de la geoquímica se han

obtenido los siguientes resultados (el resto de sondeos son del entorno de Mina FE, zona muy fracturada y brechificada y sus resultados hay que tomarlos con cautela).

El contenido en Ulábil sigue siendo muy bajo (sobre 1/3) respecto del de Utotal, que es relativamente alto (7,39 ppm). Esto podría indicar que parte del Ulábil ha podido ser extraído (fig. 8.21)

Aunque la matriz de correlación no señala nada significativo (fig. 8.21). En el análisis factorial, el factor 2, con porcentaje del 18,2 señala una cierta relación entre carbono orgánico y Utotal (fig. 8.22).

El diagrama binario (fig. 8.23) no indica en apariencia ninguna conclusión por la existencia de muestras anómalas, pero al seleccionar las muestras con el mismo criterio que anteriormente ($U_{total} < 17$ y $C_{org} < 1$), en el análisis factorial, mediante el factor 1 con un porcentaje del 28,5 se observa correlación entre el U y el C, (fig. 8.24) que se puede observar más claramente en el correspondiente diagrama binario.

En su conjunto, los sondeos del entorno de FE tienen una correlación U, C peor que en el caso de los de Marialba. Hay que tener en cuenta que esta última zona es mucho más tranquila desde el punto de vista de la tectónica de fractura, por lo que sus resultados, a priori, son más representativos y significativos que los obtenidos en el entorno de FE. Aquí la tectónica de fractura y brechificación es mucho más intensa siendo los resultados encontrados en casos como el del sondeo 8E34S, claramente deprimidos en uranio (sobre todo a favor de brechas, fracturas, algunas grafiticas) y viéndose también que, en estos sondeos, el contenido en uranio lábil baja desde un 60 % a menos de un 40 %, lo que se puede deber a que este elemento puede haber sido parcialmente extraído (en el caso de las muestra de la familia c) a favor de la red de fracturas.

8.3.4. Perfiles

En la fig. 8.26 se observa una estadística por perfiles. Se puede hacer notar que el perfil 2, situado en zona de metamorfismo de contacto (fig. 1.1), da unos contenidos en U inferiores a las otras dos.

En el perfil 1 se observa una ligera correlación Utotal-Corg (coef. de corr. = 0,45) y Utotal-S (coef. de corr. = 0,44).

En el perfil 2 se observa una ligera correlación Utotal-Zn ($r=0,49$).

En el perfil 3 se observa una muy buena correlación Utotal-Th ($r=0,99$) y buena correlación negativa Utotal-Fe ($r=-0,95$), Utotal-S ($r=-0,76$) como dato interesante este perfil coincide en una zona en la que el Th (heliportada fig. 3.3) tiene valores altos ($The > 8$ ppm).

8.3.5. Otros elementos

No parece haber una relación clara entre el uranio y otros elementos, sin embargo se observa:

En las muestras de superficie y carácter ampelítico una ligera correlación entre U, Corg y elementos calcófilos (Ni, Cu, Zn) (fig. 8.7).

En los sondeos de Marialba una ligera correlación entre Utotal y elementos calcófilos (Ni, Cu, Zn, Fe y Ti) así como con el Th (fig. 8.12).

En los sondeos de Marialba y en muestras de carácter ampelítico se observa una cierta correlación (fig. 8.16) entre el U, calcófilos (Cu, Zn), S y Corg (factor 1) así como entre U y Th (factor 2 con menor coeficiente de participación).

En las muestras de sondeos del Entorno de FE, sin el sondeo anómalo se observa una correlación entre U y K (fig. 8.22 factor 2).

CONCLUSIONES GENERALES

De los resultados del estudio geoquímico se puede llegar a las siguientes conclusiones generales:

- El contenido medio en U en las muestras de superficie es de 4,58 ppm, en los sondeos de Marialba de 5,44 y en los de el Entorno de FE, de 6,94 y los de Ulábil el 49 %, el 61 % y el 39 % del total, estando el Ulábil claramente deprimido en los últimos sondeos.
- Los contenidos en U aumentan en las filitas de carácter ampelítico, siendo estos valores de 5,36 en las de superficie, de los cuales el 49 % es lábil; 7,95 en los sondeos de Marialba, de los que el 61 % es lábil y 7,28 en los sondeos de Entorno de FE de los que el 37 % es lábil.
- Por lo que respecta a las relaciones con el carbono orgánico, en las muestras de superficie, la correlación es moderada (0,33) quedando ésta también reflejada por el análisis factorial.

En las litologías ampelíticas de superficie, se obtienen parecidos resultados de relación Utotal-Corg para el total de las muestras.

- En los sondeos de Marialba, esta relación Utotal/Corg es muy buena para una parte de la población ($U_{total} < 30$ y $Corg < 1$), obteniéndose los mismos resultados para las filitas de carácter ampelítico con coeficientes de correlación de 0,65.

En los sondeos del Entorno de Mina FE la situación es bastante más complicada por la influencia de rocas brechificadas y fracturadas. En ella, hay un sondeo (8E34S) claramente deprimido en U y con altos contenidos en Corg, por lo que las condiciones entre estos elementos van a quedar enmascaradas.

Para el resto de muestras de esta zona, la relación Utotal con el Corg, es a priori, difícil de establecer y de hecho la matriz de correlación

no dá valores significativos.

Sin embargo, el análisis factorial si parece indicar la existencia de esta relación al igual que lo hace el diagrama binario con cortes para eliminar muestras aberrantes.

Por ello, parece ser que ha habido una influencia de la zona de fracturas, con posibles extracciones del U de las rocas encajantes.

En conclusión, hay un enriquecimiento en el contenido en U en las litologías ampelíticas, en superficie y especialmente en los sondeos, dándose una buena correlación entre U_{total} y Corg allí donde no ha habido modificaciones posteriores, como efectos supergénicos o posible extracción del U a favor de zonas de fractura.

Además, se han observado en campo, niveles anómalos en U (químico) y también radiométricamente, que tienen gran continuidad lateral, y que han sido detectados en los perfiles de desmuestre.

Las muestras con contenidos altos en C orgánico son las que de visu se habían dado como de carácter ampelítico.

No se observa ninguna relación clara entre los contenidos en U (total y lábil), Corg y C_{total} y los otros elementos analizados, aunque entre algunos de ellos si la hay, dando el análisis factorial, por ejemplo, una clara relación entre los calcófilos.

Las filitas de carácter ampelítico suponen un gran porcentaje del total de rocas del C.E.G. (aproximadamente un 40 %) y las familias anómalas en U pueden suponer el 25 % de las ampelíticas de superficie.

Se observa una disminución en el contenido de U del perfil P-2 próximo al granito en relación a los otros dos y una buena correlación U-Th en el perfil P-3 encajado en los tramos T-5 y T-6 de carácter arenoso y ampelítico respectivamente.

Number of Valid Observations (Listwise) = 99.00

Variable	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum	N	Label
UTOTAL	4.58	5.46	1.0	50.6	607	
ULABIL	2.23	3.11	1.0	32.3	607	
TH	9.15	3.95	1.7	40.0	607	
NI	34.38	17.78	8	122	607	
CU	44.60	19.98	2	177	607	
ZN	100.24	38.66	1	547	607	
TI	.74	.28	.07	5.74	607	
FE	6.87	3.06	1.00	70.19	607	
P	.12	.34	1.00	8.13	607	
CORG	.35	.48	.036	2.350	49	
CTOT	.58	1.23	.061	9.170	49	
S	.07	.07	.015	.781	49	

FIGURA 8.1- MUESTRAS DE SUPERFICIE. CONTENIDOS MEDIOS EN LOS DIFERENTES ELEMENTOS ANALIZADOS, DESVIACIONES, VALORES MAXIMOS Y MINIMOS.

--- FACTOR ANALYSIS ---

Analysis Number 1 Listwise deletion of cases with missing values

Correlation Matrix:

	UTOTAL	ULABIL	TH	NI	CU	ZN	TI
UTOTAL	1.00000						
ULABIL	.87427	1.00000					
TH	.10300	.09411	1.00000				
NI	-.09041	-.11751	-.04075	1.00000			
CU	.06062	.00407	.16922	.48039	1.00000		
ZN	.21391	.19005	.10320	.81513	.45627	1.00000	
TI	.02102	.07210	.12932	-.08196	.21022	.17541	1.00000
FE	.01625	-.00524	.22948	.40763	.62122	.63832	.85779
P	-.00860	-.03108	-.05725	.08575	-.00015	.06277	.08529
CORG	.33074	.31735	.17046	-.26748	-.02006	-.25807	-.15119
CTOT	.02674	-.01153	-.11050	.07710	-.26381	-.40961	-.48649
S	.37585	.39199	.12448	-.13500	-.06429	.00570	.13697

	FE	P	CORG	CTOT	S
FE	1.00000				
P	.10993	1.00000			
CORG	-.11450	-.06879	1.00000		
CTOT	-.44998	-.04502	.34212	1.00000	
S	.03477	-.00780	.29661	.00727	1.00000

FIGURA 8.2- MUESTRAS DE SUPERFICIE. MATRIZ DE CORRELACION DE LOS ELEMENTOS ANALIZADOS.

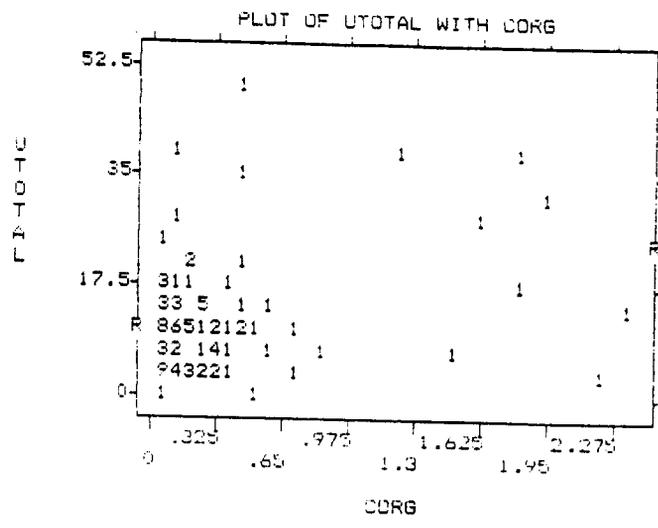
--- FACTOR ANALYSIS ---

Factor Matrix:

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4
UTOTAL	.04604	.88074	.17432	-.24906
ULABIL	.03032	.88394	.10402	-.17492
TH	.21662	.28144	-.17135	.56682
NI	.57353	-.22916	.67732	-.03624
CU	.71726	.04017	.23375	.30793
ZN	.82043	.11667	.29167	-.17333
TI	.50012	.12591	-.65472	-.04379
FE	.87097	.05741	-.04681	.16784
P	.13286	-.06251	-.02964	-.43866
CORG	-.34587	.56564	.13714	.43397
CTOT	-.60703	.01380	.58423	.16264
S	-.03456	.63861	-.13752	-.10076

Factor	Eigenvalue	Pct of Var	Cum Pct
1	3.09213	25.7	25.7
2	2.46502	20.5	46.1
3	1.47981	12.3	58.5
4	1.14570	9.5	68.0

FIGURA 8.3- MUESTRAS DE SUPERFICIE. ANALISIS FACTORIAL.



99 cases plotted. Regression statistics of UTOTAL on CORG:
 Correlation .33074 R Squared .10939 S.E. of Est 3.78149 Sig. .0008
 Intercept(S.E.) 9.30994(1.09298) Slope(S.E.) 5.39357(1.85229)

FIGURA 8.4- MUESTRAS DE SUPERFICIE. DIAGRAMA BINARIO Y RECTA DE REGRESION DEL U total y EL C org.

Number of Valid Observations (Listwise) = 59.00

Variable	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum	N	Label
UTOTAL	5.36	6.80	1.0	50.6	330	
ULABIL	2.64	3.63	1.0	32.1	330	
TH	8.40	3.96	1.7	34.0	330	
NI	31.60	17.78	5	122	330	
CU	47.72	20.02	2	177	330	
ZN	96.51	32.75	1	221	330	
TI	.77	.32	.12	5.74	330	
FE	7.00	1.63	.93	16.10	330	
P	.10	.08	.00	.60	330	
CORG	.50	.57	.036	2.350	59	
CTOT	.54	.57	.070	2.370	59	
S	.09	.09	.015	.781	59	

FIGURA 8.5- MUESTRAS DE SUPERFICIE. LITOLOGIAS DE CARACTER AMPELITICO. CONTENIDOS MEDIOS EN LOS ELEMENTOS ANALIZADOS.

--- FACTOR ANALYSIS ---

Correlation Matrix:

	UTOTAL	ULABIL	TH	NI	CU	ZN	TI
UTOTAL	1.00000						
ULABIL	.37591	1.00000					
TH	-.00019	-.05903	1.00000				
NI	.01715	-.01758	.05395	1.00000			
CU	.07546	.00316	.17388	.61869	1.00000		
ZN	.27109	.23008	.02857	.71757	.43684	1.00000	
TI	-.11194	-.04435	.10202	.09819	.08219	.11079	1.00000
FE	-.01014	-.05007	.18072	.55738	.63847	.55384	.39279
P	-.17895	-.13622	-.20021	.19390	.00363	.14020	.00538
CORG	.23877	.20291	.09336	-.21494	-.00207	-.27068	-.31187
CTOT	.23359	.20129	.08817	-.22525	-.00770	-.27987	-.31185
S	.35081	.35780	.06998	-.11232	-.13849	-.02738	.08374

	FE	P	CORG	CTOT	S
P	.05380	1.00000			
CORG	-.10665	-.11444	1.00000		
CTOT	-.10819	-.10140	.99544	1.00000	
S	-.01649	-.01668	.24921	.24861	1.00000

FIGURA 8.6- MUESTRAS DE SUPERFICIE. LITOLOGIAS DE CARACTER AMPELITICO. MATRIZ DE CORRELACION.

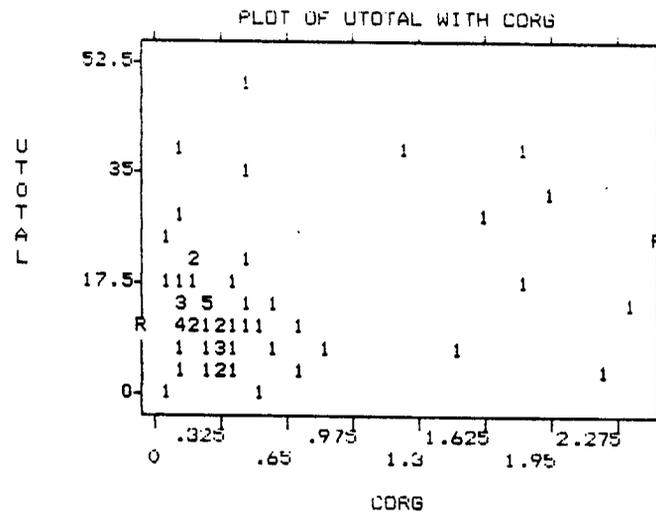
- - - - FACTOR ANALYSIS - - - -

Factor Matrix:

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
UTOTAL	-.19860	.79724	-.45638	-.01665	-.15576
ULABIL	-.21636	.74466	-.53225	-.01390	-.08315
TH	.07846	.17444	.37550	.61372	-.14465
NI	.77202	.33278	.15122	-.25616	-.02641
CU	.60650	.42864	.41353	-.05157	-.14372
EN	.70992	.46357	-.18998	-.19860	-.06419
FI	.41197	-.06854	-.16276	.59823	.44914
FE	.71263	.36149	.29420	.17607	.18051
F	.22180	-.15547	-.01891	-.56726	.62308
CDRG	-.63352	.48191	.54614	-.11062	.13279
CDOT	-.63623	.47434	.54508	-.11541	.14331
S	-.28877	.44004	-.22935	.25723	.55124

Factor	Eigenvalue	Pct of Var	Cum Pct
1	3.17908	26.5	26.5
2	2.54033	21.2	47.7
3	1.61343	13.4	61.1
4	1.28723	10.7	71.8
5	1.04227	8.7	80.5

FIGURA 8.7- MUESTRAS DE SUPERFICIE. LITOLOGIAS DE CARACTER AMPELITICO. ANALISIS FACTORIAL.



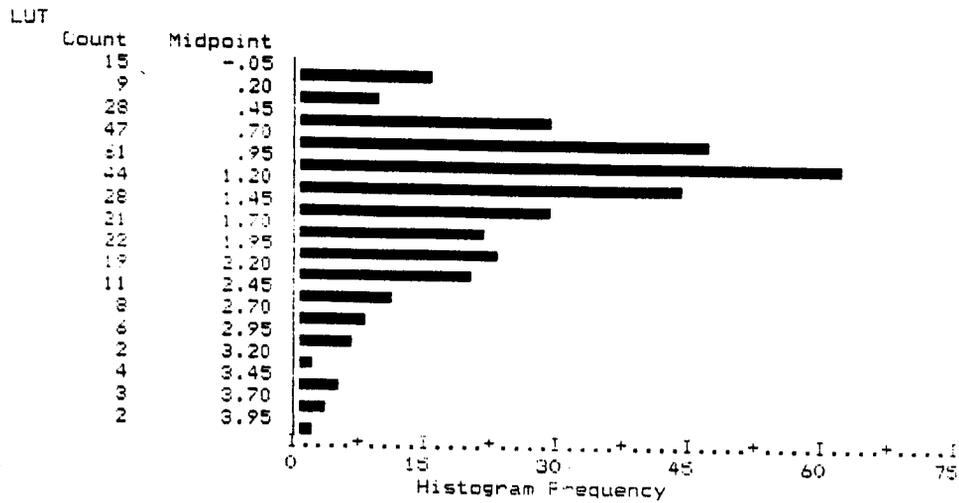
39 cases plotted. Regression statistics of UTOTAL on CDRG:
 Correlation .23877 R Squared .05701 S.E. of Est 10.47168 Sig. .0686
 Intercept(S.E.) 11.95812(1.83284) Slope(S.E.) 4.50418(2.42638)

FIGURA 8.8- MUESTRAS DE SUPERFICIE. LITOLOGIAS DE CARACTER AMPELITICO. DIAGRAMA BINARIO U total - C org. Y RECTA DE REGRESION.

Number of Valid Observations (Listwise) = 47.00

Variable	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum	N	Label
UTOTAL	5.44	6.67	1.0	47.3	182	
ULABIL	3.31	5.06	1.0	44.0	182	
TH	6.75	2.26	1.0	16.6	182	
NI	47.01	11.29	10	85	182	
CU	45.61	14.02	12	114	182	
ZN	128.32	22.65	28	171	182	
FI	.70	.15	.12	1.09	182	
FE	7.47	1.02	1.44	10.69	182	
F	.12	.09	.00	.71	182	
CDRG	.44	.45	.046	2.790	47	
CDOT	.53	.46	.086	2.850	47	
S	1.39	1.04	.005	4.400	47	

FIGURA 8.10- SONDEOS DE LA ZONA DE MARIALBA. CONTENIDOS MEDIOS EN LOS ELEMENTOS ANALIZADOS.



Number of Valid Observations (Listwise) = 49.00

Variable	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum	N	Label
UTOTAL	13.11	9.67	5.5	50.6	86	
ULABIL	6.49	5.48	1.0	32.1	86	
TH	9.11	4.04	3.0	30.5	86	
N1	34.03	19.20	6	122	86	
CU	44.91	19.05	19	107	86	
ZN	98.90	34.45	42	221	86	
TI	.80	.16	.51	1.17	86	
FE	7.07	1.56	4.43	13.18	86	
S	.11	.08	.00	.60	86	
CURG	.50	.56	.043	2.350	49	
CTDT	.54	.56	.070	2.370	49	
S	.09	.10	.044	.781	49	

FIGURA 8.9- MUESTRAS DE SUPERFICIE. LITOLOGIAS DE CARACTER AMPELITICO. HISTOGRAMA DE FRECUENCIAS DEL Ln DEL U tot.

- - - - FACTOR ANALYSIS - - - -

Correlation Matrix:

	UTOTAL	ULABIL	TH	NI	CU	ZN	TI
UTOTAL	1.00000						
ULABIL	.96520	1.00000					
TH	.29552	.24525	1.00000				
NI	.28260	.23494	.30792	1.00000			
CU	.02088	-.03381	-.18853	.42044	1.00000		
ZN	.44235	.35945	.53351	.39115	.15584	1.00000	
TI	.15462	.17488	.31932	.30511	-.17844	.46192	1.00000
FE	.04969	.05501	.08876	.57963	.23824	.34502	.67200
P	.13806	.14986	.04897	.10329	-.30228	-.06186	.23369
CORG	.04706	-.00190	-.03949	-.00717	.06510	.09806	-.22025
CTOT	.05652	.00069	-.02947	.05244	.10124	.08265	-.22342
S	.03563	-.04384	.18495	.38628	.45843	.40350	.12989

	FE	P	CORG	CTOT	S
FE	1.00000				
P	.14169	1.00000			
CORG	-.01730	.27206	1.00000		
CTOT	.03152	.26832	.98665	1.00000	
S	.29614	-.34951	.32800	.38694	1.00000

FIGURA 8.11- SONDEOS DE LA ZONA DE MARIALBA. MATRIZ DE CORRELACION.

- - - - FACTOR ANALYSIS - - - -

Factor Matrix:

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
UTOTAL	.63313	-.19851	.53267	-.45556	.20165
ULABIL	.57769	-.26548	.55165	-.42606	.25053
TH	.54784	-.21926	.13013	.00384	-.62546
NI	.72083	.05434	-.29107	.05494	.29620
CU	.25154	.39248	-.54889	-.38251	.41316
ZN	.78963	-.03139	-.03832	-.09736	-.34630
TI	.59112	-.41553	-.14283	.53330	-.07855
FE	.62265	-.02719	-.38891	.49132	.29591
P	.12566	-.00065	.58084	.62343	.30286
CORG	.14175	.87374	.40102	.15122	-.07731
CTOT	.17503	.89340	.36301	.14785	-.04774
S	.49822	.53885	-.43328	-.16231	-.24902

Factor	Eigenvalue	Pct of Var	Cum Pct
1	3.29294	27.4	27.4
2	2.34129	19.5	47.0
3	1.98180	16.5	63.5
4	1.53342	12.8	76.2
5	1.12291	9.4	85.6

FIGURA 8.12- SONDEOS DE LA ZONA DE MARIALBA. ANALISIS FACTORIAL.

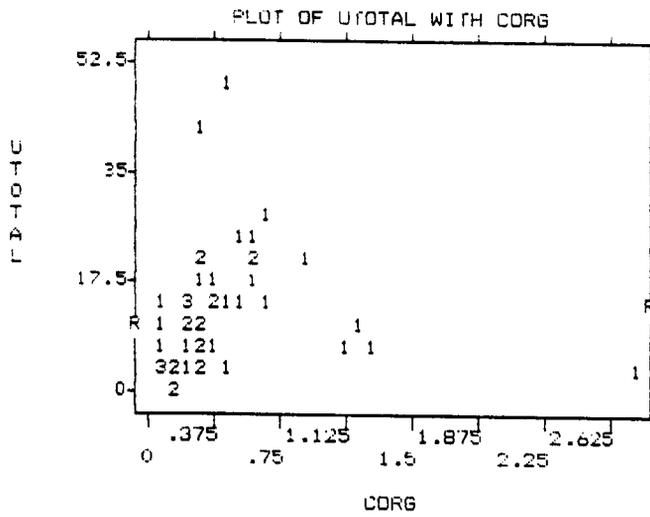


Fig. 8.13a

MORE

47 cases plotted. Regression statistics of UTOTAL on CORG:
 Correlation .04706 R Squared .00221 S.E. of Est 9.72241 Sig. .7535
 Intercept(S.E.) 12.21256(1.98883) Slope(S.E.) 1.00124(3.16840)

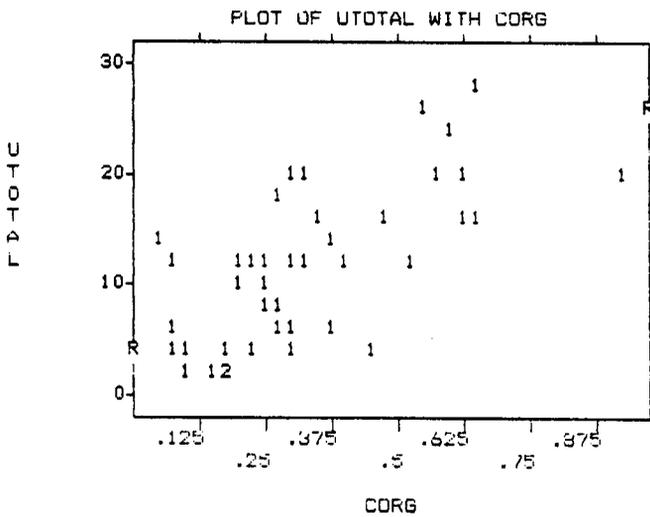


Fig. 8.13b

MORE

41 cases plotted. Regression statistics of UTOTAL on CORG:
 Correlation .67536 R Squared .45612 S.E. of Est 5.24921 Sig. .0000
 Intercept(S.E.) 3.74653(1.60005) Slope(S.E.) 23.85371(4.17098)

FIGURA 8.13- SONDEOS DE LA ZONA DE MARIALBA. DIAGRAMAS BINARIOS: A) TOTAL Y B) CORTES. U total(30 y C org.(1).

Number of Valid Observations (Listwise) = 25.00

Variable	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum	N	Label
UTOTAL	7.95	8.42	1.3	47.3	29	
ULABIL	4.34	5.70	1.0	24.0	29	
TH	7.08	2.05	1.0	10.8	29	
NI	51.99	11.50	31	55	29	
CU	52.57	13.78	12	114	29	
ZN	135.30	17.52	95	169	29	
TI	.80	.08	.25	.89	29	
FE	7.15	.86	4.64	10.69	29	
P	.11	.10	.00	.71	29	
ORRG	.83	.49	.069	2.790	25	
OTOT	.62	.50	.120	2.850	25	
S	1.62	1.05	.075	4.400	25	

Correlation Matrix:

	UTOTAL	ULABIL	TH	NI	CU	ZN	TI
UTOTAL	1.00000						
ULABIL	.77083	1.00000					
TH	.22187	.20633	1.00000				
NI	.15976	.17003	-.02289	1.00000			
CU	-.03892	-.08014	-.17636	.35775	1.00000		
ZN	.22744	.48444	.41983	.10817	.08275	1.00000	
TI	.01350	.01853	.03639	.05260	.07308	.02025	1.00000
FE	.01052	.03458	-.14537	.08875	.72647	-.02831	.07750
P	.09177	.11509	.04006	.07414	-.37099	-.03628	.00395
ORRG	-.07706	-.09912	-.17329	-.15105	.04946	-.12502	-.41604
OTOT	-.08148	-.10549	-.16877	-.21594	.10811	-.15590	-.42392
S	-.07963	-.13191	-.10252	.23750	.64765	.28066	.07876

	FE	P	ORRG	OTOT	S
FE	1.00000				
P	-.00295	1.00000			
ORRG	-.12618	.26744	1.00000		
OTOT	-.06916	.26271	.79105	1.00000	
S	.40322	-.41426	.23407	.29191	1.00000

FIGURA 8.14- SONDEOS DE LA ZONA DE MARIALBA. MUESTRAS AMPELITICAS. ESTADISTICA Y MATRIZ DE CORRELACION.

Number of Valid Observations (Listwise) = 29.00

Variable	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum	N	Label
UTOTAL	13.36	7.22	1.3	27.4	29	
ULABIL	8.09	4.83	1.0	17.9	29	
TH	7.02	1.93	3.0	10.0	29	
NI	49.21	10.80	34	55	29	
CU	54.07	18.80	29	114	29	
ZN	134.00	20.12	95	163	29	
TI	.82	.10	.41	.89	29	
FE	6.90	1.00	4.64	10.32	29	
P	.13	.14	.01	.71	29	
ORRG	.39	.20	.069	.928	29	
OTOT	.48	.21	.120	.987	29	
S	1.51	.90	.194	4.400	29	

Correlation Matrix:

	UTOTAL	ULABIL	TH	NI	CU	ZN	TI
UTOTAL	1.00000						
ULABIL	.67025	1.00000					
TH	.15581	.16062	1.00000				
NI	.01661	.01971	-.17617	1.00000			
CU	-.01743	-.08482	-.33503	.33971	1.00000		
ZN	.08080	.54956	.25095	-.03566	.03676	1.00000	
TI	.29501	.39841	.17611	.08076	-.05427	-.13021	1.00000
FE	-.16690	-.17768	-.27720	.76100	.74640	-.13497	.01955
P	.18150	.23200	.36756	.20124	-.01740	-.08414	.05907
ORRG	.35058	.57150	-.07946	.00995	.40787	.09324	-.05526
OTOT	.56927	.47903	-.16643	.08672	.51483	.41032	-.11877
S	.05645	-.01582	-.36989	.43322	.71750	.22390	-.19154

	FE	P	ORRG	OTOT	S
FE	1.00000				
P	.09749	1.00000			
ORRG	.01646	-.29317	1.00000		
OTOT	.15496	-.25099	.93629	1.00000	
S	.48099	-.37944	.59922	.69551	1.00000

FIGURA 8.15- SONDEOS DE LA ZONA DE MARIALBA. MUESTRAS AMPELITICAS. ESTADISTICA Y MATRIZ DE CORRELACION. CORTES U total30 Y C org.01.

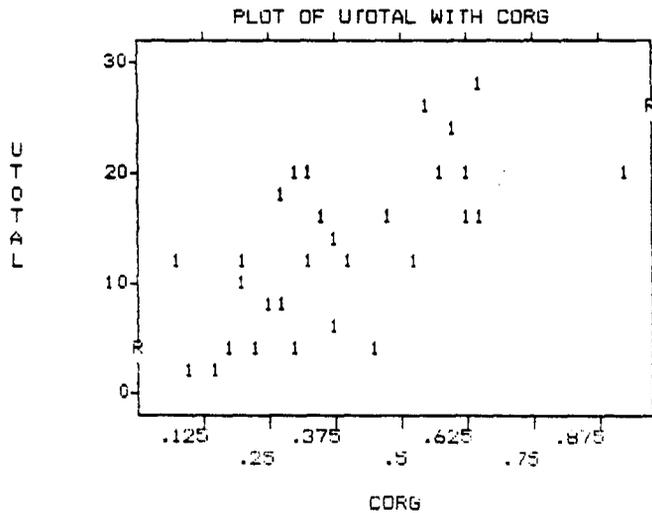
- - - - FACTOR ANALYSIS - - - -

Factor Matrix:

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3
UTOTAL	.63365	.69134	.12959
ULABIL	.56361	.72381	.20041
TH	-.20819	.54812	.11546
NI	.34244	-.46231	.68167
CU	.65140	-.66389	.14797
ZN	.56433	.49569	-.07837
TI	.06026	.30066	.85410
FE	.34312	-.65584	.58614
P	-.23466	.36143	.76571
CORG	.90865	.21253	-.25146
CTOT	.91243	.04623	-.21600
S	.74324	-.49034	-.13988

Factor	Eigenvalue	Pct of Var	Cum Pct
1	4.00958	33.4	33.4
2	3.14139	26.2	59.6
3	2.35181	19.6	79.2

FIGURA 8.16- SONDEOS DE LA ZONA DE MARIALBA. MUESTRAS AMPELITICAS. CORTES U total30 Y C org.(1). ANALISIS FACTORIAL.



29 cases plotted. Regression statistics of UTOTAL on CORG:
 Correlation .65058 R Squared .42326 S.E. of Est 5.58441 Sig. .0001
 Intercept(S.E.) 4.23491(2.29634) Slope(S.E.) 23.39977(5.25674)

FIGURA 8.17- SONDEOS DE LA ZONA DE MARIALBA. MUESTRAS AMPELITICAS. CORTES U total30 Y C org.(1). DIAGRAMA BINARIO Utotal-C org.

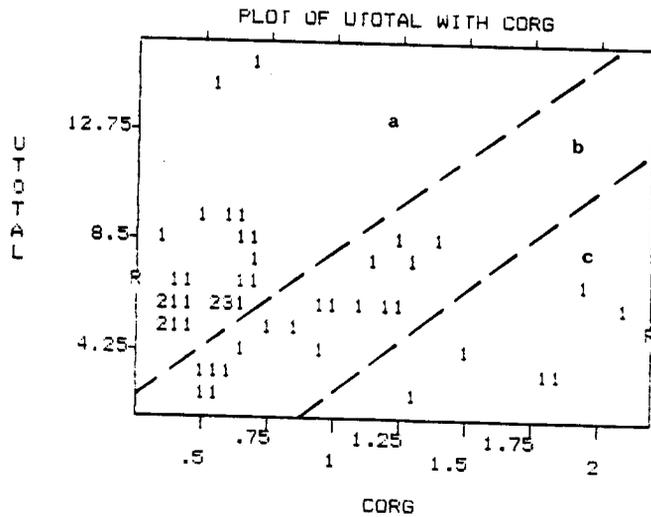
Number of Valid Observations (Listwise) = 100.00

Variable	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum	N	Label
UTOTAL	6.94	4.56	2.48	36.87	100	
ULABIL	2.69	3.40	.74	27.97	100	
THTOTAL	7.57	1.71	3.69	12.99	100	
CA	.88	.88	.26	5.84	100	
CR	152.01	26.93	97	236	100	
CU	40.34	31.68	0	305	100	
FE	7.07	1.72	.64	14.83	100	
K	3.63	1.01	.31	6.25	100	
MN	.10	.06	.00	.41	100	
NI	44.28	13.80	20	93	100	
TI	.76	.22	.06	1.40	100	
ZN	110.36	42.89	22	240	100	
CTOT	.76	.76	.0459	3.6300	100	
CORG	.49	.46	.00	2.11	100	

Correlation Matrix:

	UTOTAL	ULABIL	THTOTAL	CA	CR	CU	FE
UTOTAL	1.00000						
ULABIL	.90860	1.00000					
THTOTAL	.10538	-.02778	1.00000				
CA	-.08846	-.00597	-.15829	1.00000			
CR	.06959	.14300	-.00479	.20207	1.00000		
CU	.09175	.03425	.06298	-.09256	.00509	1.00000	
FE	.01869	.04148	.07252	.07902	.13253	.25190	1.00000
K	.07069	.04104	.03049	-.43452	-.25822	.11055	-.19990
MN	-.06617	.06072	-.13204	.31886	.23120	.08147	.54234
NI	.07020	.07420	.14797	-.07065	.12572	.42351	.55487
TI	.15253	.12379	.20275	-.13894	.36981	.07192	.43793
ZN	-.01465	-.07307	.05476	-.18729	-.05679	.15263	.28142
CTOT	-.06042	.09865	-.41237	.31221	.14629	.00029	.08969
CORG	-.12806	.00746	-.32052	.05657	.11280	.10452	.06290

	K	MN	NI	TI	ZN	CTOT	CORG
K	1.00000						
MN	-.17653	1.00000					
NI	.07836	.40955	1.00000				
TI	-.06708	.06342	.14606	1.00000			
ZN	-.09092	.04762	.19177	.15148	1.00000		
CTOT	.28397	.37923	.11808	-.02529	-.32512	1.00000	
CORG	.40576	.28068	.25945	-.03757	-.26332	.84894	1.00000



51 cases plotted. Regression statistics of UTOTAL on CORG:
 Correlation -.10358 R Squared .01073 S.E. of Est 2.48553 Sig. .4695
 Intercept (S.E.) 6.74430(.71804) Slope (S.E.) -.56808(.77929)

FIGURA 8.18- SONDEOS ENTORNO MINA FE. ESTADISTICA, MATRIZ DE CORRELACION Y DIAGRAMA BINARIO U total-C org.

- - - - FACTOR ANALYSIS - - - -

Factor Matrix:

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
UTOTAL	.04785	.38915	.80381	-.05594	-.19104
ULABIL	.19362	.27873	.78350	-.43517	-.19699
THTOTAL	-.27128	.49508	.02672	.15206	.28132
CA	.31644	-.21484	-.36333	-.60494	-.22945
CR	.38894	.19642	-.07628	-.42987	.51928
CU	.28672	.32249	.09284	.42151	-.26527
FE	.54165	.56200	-.26296	.10581	-.05526
K	.04301	-.29693	.54095	.63171	.15572
MN	.73336	.11082	-.28093	-.11815	-.20708
NI	.58969	.42661	-.01297	.38767	-.15985
TI	.24224	.53896	.03852	-.04823	.64365
ZN	-.07999	.52920	-.22593	.26899	-.23950
CTOT	.73652	-.56735	.15996	-.00537	.08505
CORG	.69175	-.52345	.19641	.26845	.15137

Factor	Eigenvalue	Pct of Var	Cum Pct
1	2.77049	19.3	19.8
2	2.42768	17.3	37.1
3	1.96469	14.0	51.2
4	1.78886	12.8	63.9
5	1.14465	8.2	72.1

FIGURA 8.19- SONDEOS ENTORNO MINA FE. ANALISIS FACTORIAL.

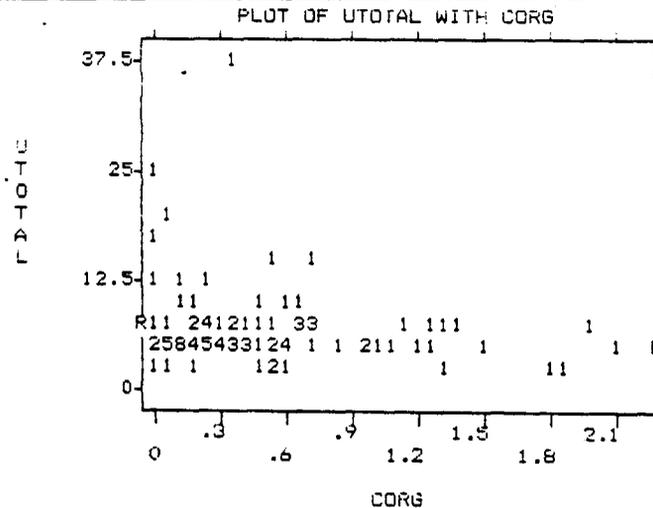


Fig. 8.20a

100 cases plotted. Regression statistics of UTOTAL on CORG:
 Correlation $-.12806$ R Squared $.01640$ S.E. of Est 4.54526 Sig. $.2042$
 Intercept(S.E.) $7.54732(.65950)$ Slope(S.E.) $-1.25828(.98437)$

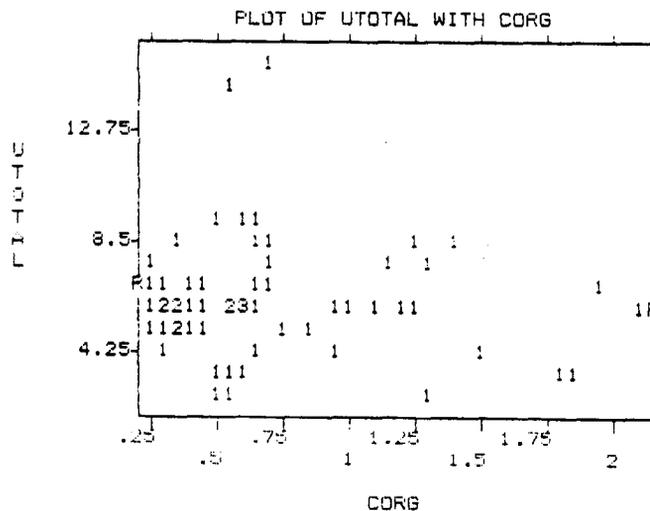


Fig. 8.20b

60 cases plotted. Regression statistics of UTOTAL on CORG:
 Correlation $-.07708$ R Squared $.00594$ S.E. of Est 2.31500 Sig. $.5583$
 Intercept(S.E.) $6.53031(.56522)$ Slope(S.E.) $-.38864(.66004)$

FIGURA 8.20- SONDEOS ENTORNO MINA FE. DIAGRAMA BINARIO Utotal-Corg.
 a) POBLACION TOTAL Y b) CORTES U total(17 Y C org)0.25.

Number of Valid Observations (Listwise) = 78.00

Variable	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum	N	Label
UTOTAL	7.39	5.00	2.48	36.87	78	
ULABIL	2.72	3.75	.74	27.97	78	
CA	.94	.74	.26	4.32	78	
CR	150.36	27.47	97	236	78	
CU	40.60	35.09	0	305	78	
FE	7.11	1.83	.64	14.83	78	
K	3.45	1.01	.31	5.60	78	
MN	.09	.05	.00	.28	78	
NI	43.21	13.87	21	93	78	
TI	.78	.24	.06	1.40	78	
ZN	119.36	39.91	22	240	78	
CTOT	.47	.41	.0459	2.4900	78	
CORG	.30	.24	.00	1.13	78	

Correlation Matrix:

	UTOTAL	ULABIL	CA	CR	CU	FE	K	MN	NI	TI	ZN	CTOT	CORG
UTOTAL	1.00000												
ULABIL	.92977	1.00000											
CA	-.17277	-.15469	1.00000										
CR	.13309	.19616	.37942	1.00000									
CU	.16019	.04773	-.05584	-.01589	1.00000								
FE	.01677	.05626	.16840	.20649	.28347	1.00000							
K	.16843	.08178	-.64193	-.39205	.09758	-.20122	1.00000						
MN	-.05177	.05161	.45509	.39845	.16232	.56182	-.34259	1.00000					
NI	.11844	.12953	.10681	.08975	.42739	.65903	-.06308	-.02994	1.00000				
TI	.13035	.14087	-.14974	.39324	.07417	.44028	-.02994	.01214	-.06992	1.00000			
ZN	-.06992	-.04846	-.06953	.05901	.16595	.26818	.01214	-.02994	.05787	.08612	1.00000		
CTOT	.05787	.08612	.09318	.26070	.04166	.29340	.18548	-.00330	-.00330	.01779	-.14932	.07849	.18053
CORG	-.00330	.01779	-.14932	.07849	.18053	.28124	.31117						
		MN	NI	TI	ZN	CTOT	CORG						
MN	1.00000												
NI	.54677	1.00000											
TI	.07985	.15094	1.00000										
ZN	.23436	.32416	.14450	1.00000									
CTOT	.30623	.15662	.23162	.09415	1.00000								
CORG	.24028	.26659	.21952	.20730	.72975	1.00000							

FIGURA 8.21- SONDEOS ENTORNO MINA FE. SIN SONDEO BE,24S. ESTADISTICA Y MATRIZ DE CORRELACION.

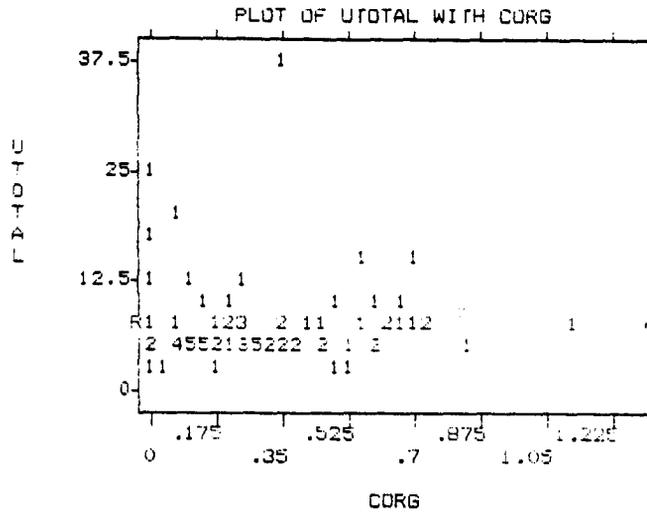
----- FACTOR ANALYSIS -----

Factor Matrix:

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
UTOTAL	.13296	.62629	.71707	-.09857	.14386
ULABIL	.19852	.56583	.75077	-.05208	.14517
CA	.30897	-.74924	.23267	.11301	.31590
CR	.51484	-.24708	.42929	.40722	-.21559
CU	.37036	.21371	-.16941	-.52862	.09366
FE	.80338	-.03680	-.08944	-.20507	-.17435
K	-.23636	.75998	-.37971	.04052	.09831
MN	.76544	-.31979	.03228	-.06080	.25459
NI	.72361	.07109	-.10068	-.49294	.11374
TI	.46019	.22078	.09106	.24533	-.74251
ZN	.39306	.06755	-.30112	-.26476	-.27983
CTOT	.54899	.26621	-.24181	.61228	.28638
CORG	.51248	.41404	-.45872	.40443	.21726

Factor	Eigenvalue	Pct of Var	Cum Pct
1	3.29585	25.4	25.4
2	2.36232	18.2	43.5
3	1.87620	14.4	58.0
4	1.42959	11.0	69.0
5	1.07347	8.3	77.2

FIGURA 8.22- SONDEOS ENTORNO MINA FE. SIN SONDEO BE,24S. ANALISIS FACTORIAL.



78 cases plotted. Regression statistics of UTOTAL on CORG:
 Correlation $-.00330$ R Squared $.00001$ S.E. of Est 5.03605 Sig. $.9772$
 Intercept (S.E.) 7.40903 (.92941) Slope (S.E.) $-.06927$ (2.41099)

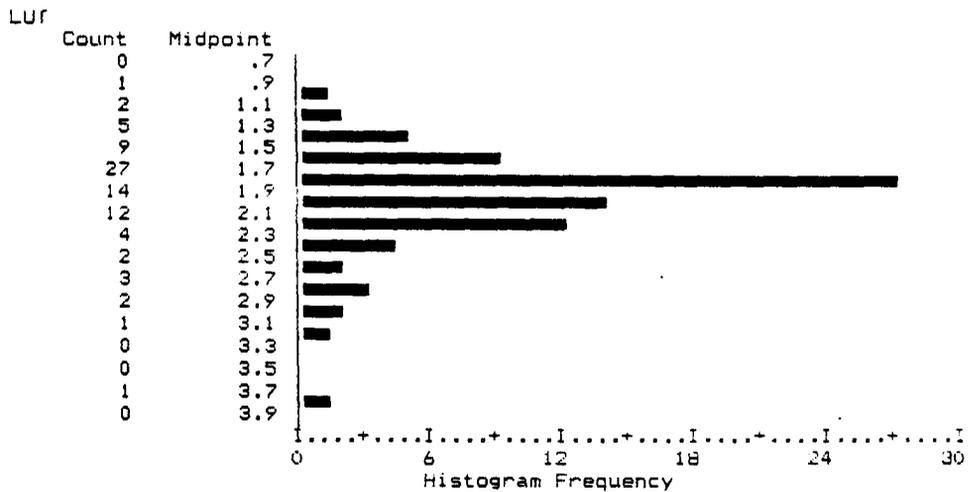


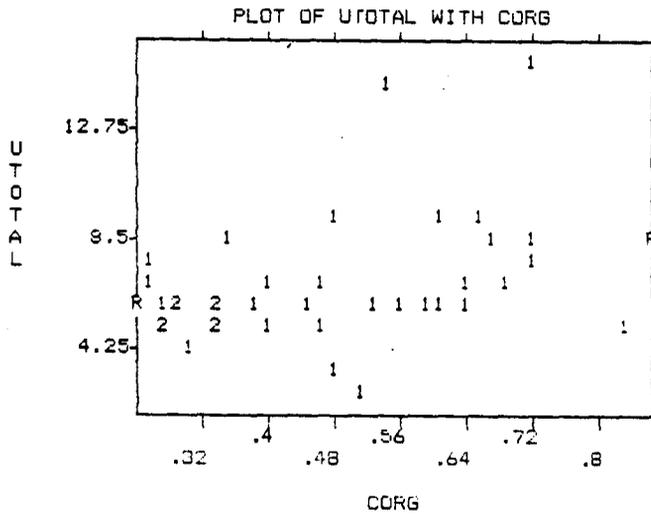
FIGURA 8.23- SONDEOS ENTORNO MINA FE. SIN SONDEO BE.345. DIAGRAMA BINARIO U total-C org. HISTOGRAMA LOGARITMICO U total.

- - - - FACTOR ANALYSIS - - - -

Factor Matrix:

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
UFOTAL	.47156	.50902	-.48536	.23449	.25340
ULABIL	.58124	.34287	-.53084	.26557	.23081
CA	.14538	-.80879	-.18629	-.15734	.27611
CR	.50064	-.38006	-.54485	-.00393	-.22155
CU	.33037	.04149	.55588	.41410	.13107
FE	.77899	-.19007	.19902	.16131	-.11402
K	-.03795	.87257	.18154	-.08921	.13615
MN	.65818	-.51097	.11415	-.09307	.20678
NI	.71070	-.13221	.41604	.27299	.19043
PI	.50509	.14663	-.21290	.11237	-.22129
ZN	.37127	.02797	.43778	-.02088	-.33618
CTOT	.62659	.20982	-.09191	-.65796	.12034
CORG	.65845	.38023	.20848	-.49759	.01534

Factor	Eigenvalue	Pct of Var	Cum Pct
1	3.70681	28.5	28.5
2	2.46394	19.0	47.5
3	1.70552	13.1	60.6
4	1.17904	9.1	69.7
5	1.01854	7.8	77.5



37 cases plotted. Regression statistics of UFOTAL on CORG:
 Correlation .33405 R Squared .11159 S.E. of Est 2.38774 Sig. .0433
 Intercept(S.E.) 4.33947(1.21759) Slope(S.E.) 5.05721(2.41193)

FIGURA 8.24- SONDEOS ENTORNO MINA FE. SIN SONDEO BE,34S. ANALISIS FACTORIAL. DIAGRAMA BINARIO U total - C org.

SONDEO 8E 34S — ZONA "D"

SITUACION MUESTRAS DE LITOGEOQUIMICA

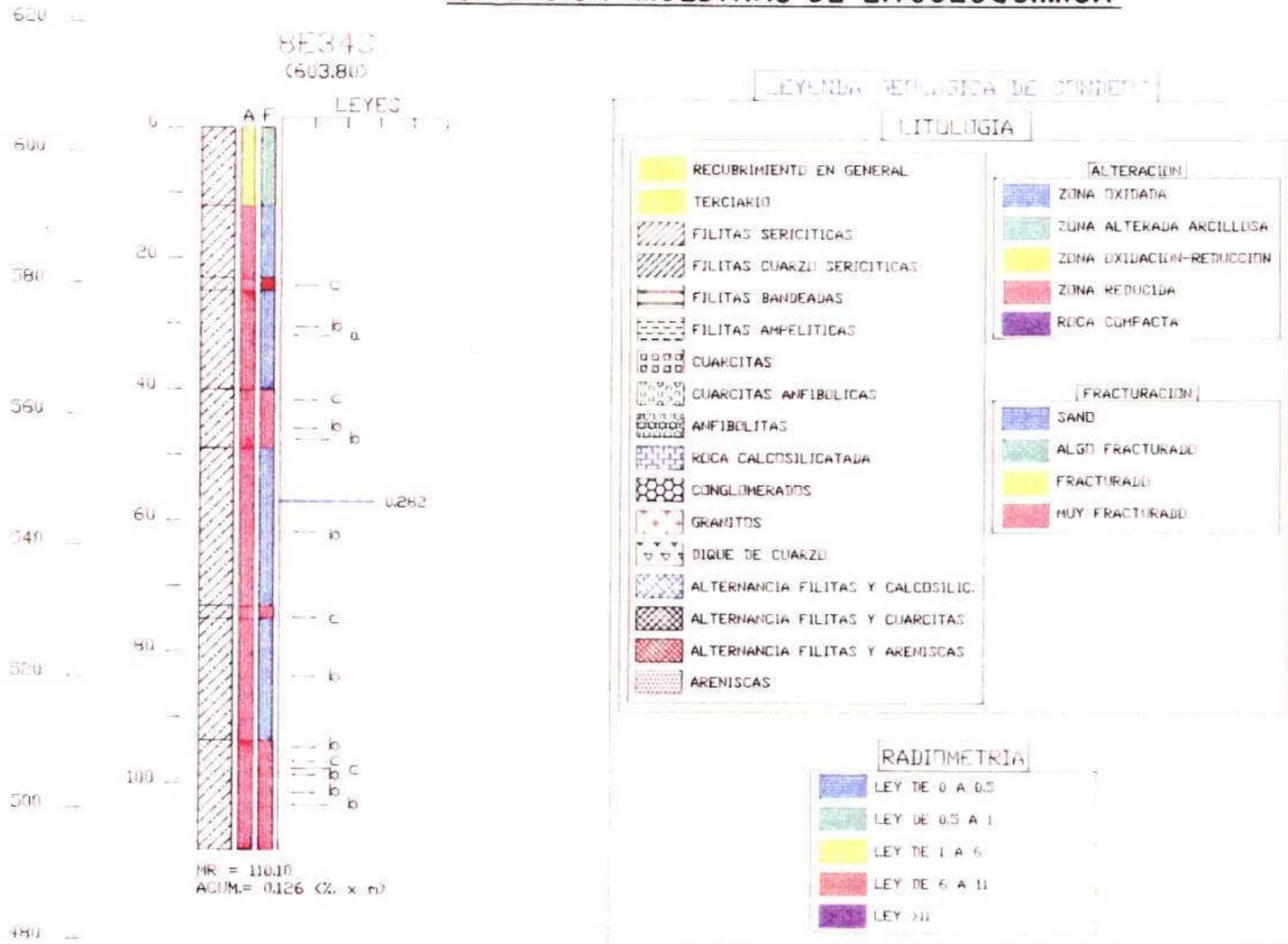


FIGURA 8.25- SITUACION DE MUESTRAS DE LITOGEOQUIMICA EN EL SONDEO 8E,34S - ZONA D.

PROFILE 1						
	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum	N	Std Dev/Mean
U total (ppm)	5,74	6,90	1,00	45,90	246	1,20
U labil "	2,53	3,34	1,00	22,50	246	1,32
Th "	8,54	3,64	1,70	30,50	246	0,43
Ni "	39,53	20,68	5,00	122,00	246	0,52
Cu "	50,35	22,19	2,00	177,00	246	0,44
Zn "	104,54	36,73	19,00	265,00	246	0,35
Ti (%)	0,77	0,19	0,12	1,25	246	0,25
Fe "	7,29	4,31	1,41	70,19	246	0,59
P "	0,13	0,11	0,00	0,90	246	0,85
C org "	0,44	0,54	0,04	2,35	58	1,23
C tot "	0,81	1,54	0,08	9,17	58	1,90
S "	0,08	0,10	0,02	0,78	58	1,25

PROFILE 2						
	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum	N	Std Dev/Mean
U total (ppm)	3,63	4,40	1,00	50,60	266	1,21
U labil "	1,80	2,71	1,00	32,10	266	1,51
Th "	8,44	3,63	1,80	26,50	266	0,43
Ni "	32,25	15,35	6,00	91,00	266	0,48
Cu "	43,76	17,38	5,00	116,00	266	0,40
Zn "	98,13	30,44	1,00	221,00	266	0,31
Ti (%)	0,73	0,33	0,13	5,74	266	0,45
Fe "	6,78	1,63	0,81	16,10	266	0,24
P "	0,10	0,06	0,00	0,44	266	0,06
C org "	0,22	0,36	0,04	2,23	37	1,64
C tot "	0,26	0,38	0,06	2,35	37	1,46
S "	0,07	0,01	0,04	0,11	37	0,14

PROFILE 3						
	Mean	Std Dev	Minimum	Maximum	N	Std Dev/Mean
U total (ppm)	4,23	2,65	1,00	12,60	95	0,63
U labil "	2,66	3,44	1,00	32,30	95	1,29
Th "	6,31	4,99	3,00	40,00	95	0,79
Ni "	27,01	11,02	8,00	73,00	95	0,41
Cu "	32,04	13,75	3,00	62,00	95	0,43
Zn "	95,02	58,47	15,00	547,00	95	0,62
Ti (%)	0,73	0,31	0,07	3,01	95	0,42
Fe "	6,03	1,83	0,00	11,68	95	0,30
P "	0,09	0,05	0,00	0,23	95	0,56
C org "	0,12	0,03	0,10	0,17	4	0,25
C tot "	0,13	0,03	0,11	0,18	4	0,23
S "	0,04	0,01	0,04	0,05	4	0,25

FIGURA 8.26- ESTADISTICA POR PERFILES.

**CAPITULO - 9 - THE ORIGIN OF THE FE MINE URANIUM DEPOSIT:
STABLE ISOTOPE STUDIES**

R.A. Both* and A. Arribas **

* Department of Geology and Geophysics, University of Adelaide.
G.P.O. Box 498, South Australia 5001, Australia.

** Directorate-General for Science. Research and Development.
Commission of the European Communities, 200 Rue de la Loi. B-1049
Brussels. Belgium.

9.1 - INTRODUCTION

The origin of the CEG-hosted uranium deposits has been debated in the literature for over 30 years, with a variety of genetic processes having been invoked, viz.

migmatic: deposition from hydrothermal fluids related to the emplacement of Hercynian granites (Arribas, 1960, 1962, 1970).

supergene: release of uranium from Hercynian granites during the weathering and erosion that produced the Pliocene peneplain (Fernandez Polo, 1965; Matos Dias and Soares de Andrade, 1970).

segregation: leaching of uranium from plutonic rocks as a consequence of late-Hercynian or Alpine tectonic activity (Arribas, 1975) or from CEG rocks, particularly carbonaceous slates, by means of thermal diffusion or convecting hydrothermal fluids related to Alpine tectonic activity (Arribas, 1985; 1987).

This contribution presents stable isotope analyses of carbonate and sulphide minerals and geothermometric data based on chlorite analyses and reassesses the origin of the Fe mineralization in the light of these data.

9.2 - MINERALIZATION

9.2.1 -Fe mine

The Fe deposit was originally mined in the oxidized zone as 3 separated bodies (Fe 1, Fe 2, Fe 3). Subsequent mining to exploit the primary mineralization led to development of a single open pit (Fig. 9.2) (Arnaiz et al., 1989). Currently the two main zones of mineralization are Fe 1 and Fe 3 which are separated by the barren Grafitosa fault, a strongly brecciated zone from a few centimeters to several meters in width. The current dimension of the open pit are approximately 1.6 km in N-S direction by 0.6 km in E-W direction.

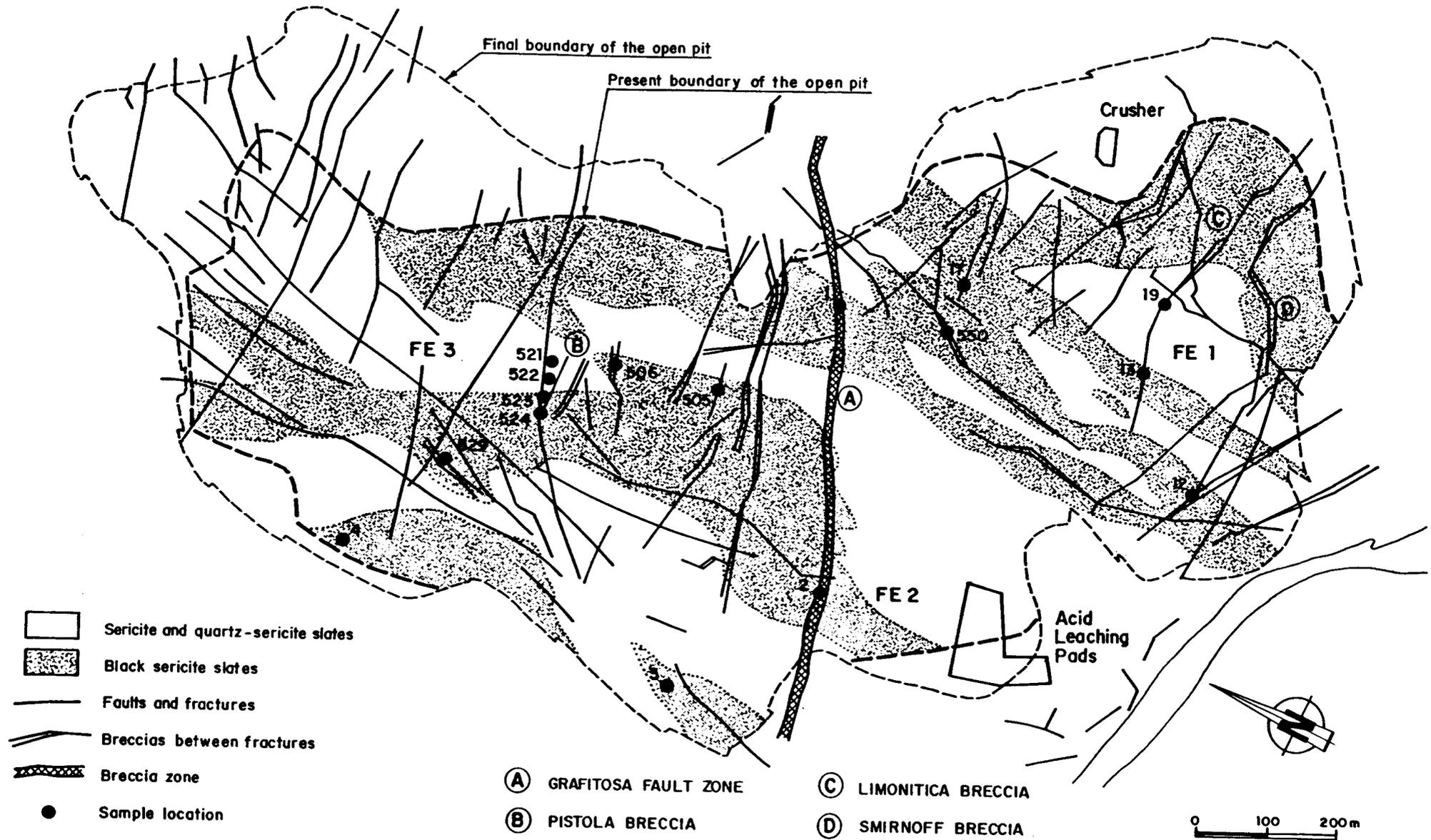


FIGURA 9.2- MAP OF FE MINE SHOWING MAIN STRUCTURAL FEATURES AND LOCATION OF SAMPLES REFERRED TO IN TABLES (adapted from Bello et al., 1988)

The Fe deposit occurs in a series consisting of alternating sericite and quartz-sericite slates and black sericite slates, the latter having an organic carbon content ranging from 0.25 to 2 percent, with an average of 0.6 percent. In both types of slates there are intercalated discontinuous beds of conglomerates and amphibolites and lenses of calc-silicate rocks (Martin Izard, 1984 and 1989). In the north-eastern part of Fe 3 there are some limited sections made up of turbiditic rocks, that may represent storm sediment layers (Fig. 9.4a).

Both Fe 1 and 3 are characterized by highly fractured rocks, with the most important fracture systems near vertical and trending NNE and E (Fig. 9.4b). Other much younger fractures, which join the earlier fractures, do not have well-defined orientation and can be subhorizontal. The Alpine tectonic activity reactivated the earlier fractures giving rise to faults and breccias, the latter being the site where the most important primary uranium ore usually occur. (eg. Smirnoff, Limonitica and Pistola breccias-Figs. 9.4c, d). In general, the breccias developed preferentially between fault planes more or less parallel and have a thickness from a few centimeters to several meters. In some cases, the breccias are almost regularly spaced.

The primary mineralization, which shows a strong structural control, occurs as narrow veins that occupy small fractures within breccia zones (Figs. 9.4c, d) and as less regular forms filling open spaces in the breccias (Fig. 9.4e). Although the breccia zones are up to several meters in width, the mineralization veins range in width from less than 1 mm up to a maximum of about 20 cm. The veins also occupy satellite fractures adjacent to the fault breccias (see above). Many of these mineralized structures resulted from reopening of the schistosity or of quartz veins of Hercynian age. Mineralization in the cavities in the breccias shows spectacular layering, including rhythmic layering and graded and cross bedding (Figs. 9.4f and 9.5a, b, c).

9.2.2 - Mineralogy

The dominant primary minerals in the ore are carbonates (calcite, dolomite and ankerite), adularia, pitchblende, coffinite, pyrite and marcasite, accompanied by minor amounts of galena, sphalerite, chalcopyrite and quartz (generally jasperoidal and hematitic), and trace amounts of fluorite and hematite. A narrow chloritized zone (from a few mm up to 5 cm in width) is present in the wallrocks adjacent to the mineralization. Supergene alteration has resulted in the formation of a wide range of secondary uranium minerals (Arribas, 1970).

The uranium mineralization has been dated at 35 ± 2 M.a. by U/PB analysis of pitchblende from the Fe and Alameda deposits (Saint-Andre and Arribas, 1987). This age indicates formation of the ore in the lower to middle Tertiary, when the Ciudad Rodrigo Basin was forming and the Hercynian basement was suffering the

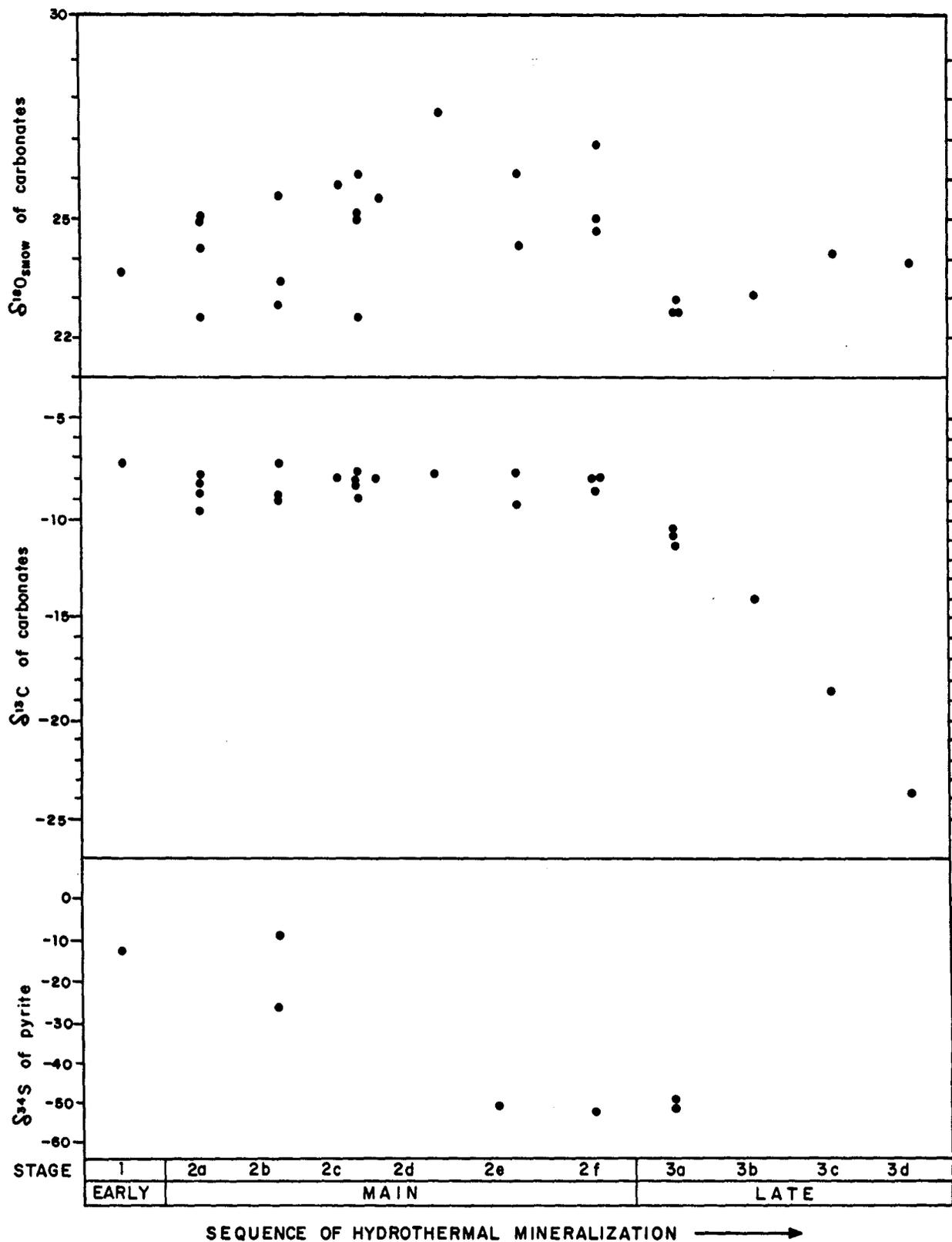


FIGURA 9.3- VARIATION OF STABLE ISOTOPE COMPOSITION OF CARBONATE GANGUE MINERALS AND PYRITE FROM FE ORE DEPOSIT WITH RESPECT TO STAGES OF DEPOSITION 1 TO 3d (SEE TABLE 9.1 AND TEXT-CHAP.9). TIME AXIS NOT TO SCALE.



FIGURA 9.4a- CORTA FE 3. LAS FRACTURAS MINERALIZADAS, EN LAS CUALES SUELEN FORMARSE ABUNDANTES MINERALES SECUNDARIOS DE URANIO, AFECTAN A UNA SERIE SEDIMENTARIA FUNDAMENTALMENTE PELITICA Y PELITICO-CARBONOSA EN LA QUE, LOCALMENTE SE ENCUENTRAN ESTRUCTURAS SEDIMENTARIAS QUE PUEDEN PERTENECER A TURBIDITAS DE REFLUJO RELACIONADAS CON TEMPESTITAS.



FIGURA 9.4b- CORTA FE 3. FRACTURAS MINERALIZADAS. AUNQUE LAS ZONAS BRECHIFICADAS PUEDEN LLEGAR A TENER VARIOS METROS DE POTENCIA, LOS MINERALES DE URANIO SE CONCENTRAN DENTRO DE FRACTURAS QUE MIDEN NORMALMENTE DE UNOS MILIMETROS A VARIOS CENTIMETROS DE ANCHURA.



FIGURA 9.4c- CORTA FE 1, BANCO 639. LOS MINERALES PRIMARIOS DE URANIO SE ENCUENTRAN UNICAMENTE EN ESTRUCTURAS ABIERTAS DE LAS BRECHAS, ALGUNAS DE LAS CUALES PUEDEN LLEGAR A TENER VARIOS DECIMETROS DE POTENCIA.

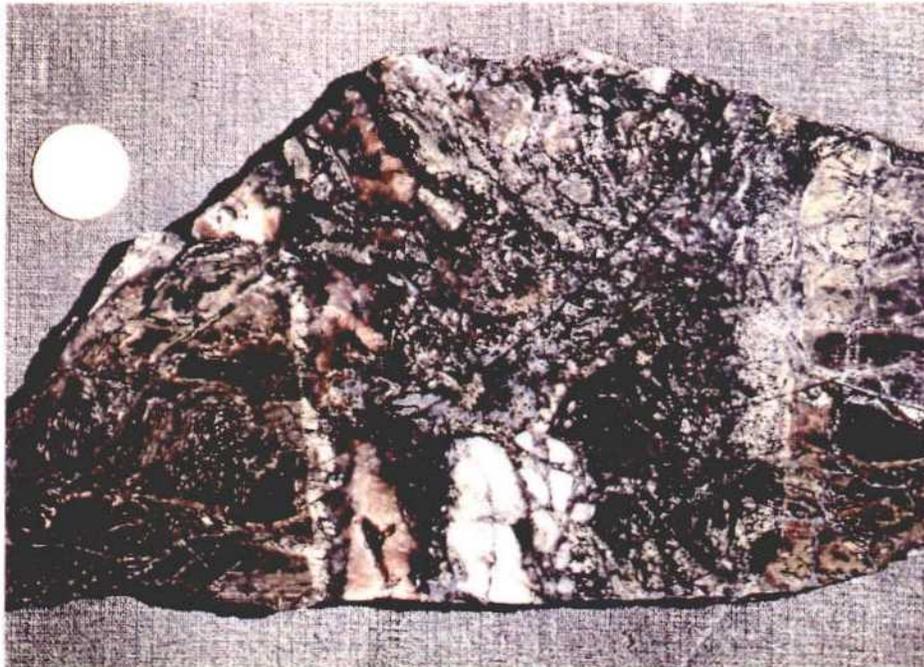


FIGURA 9.4d- CORTA FE 3. BRECHA DE CUARZO FILONIANO HERCINICO RELLENA POR CARBONATOS DE DOS VENIDAS SUCEVAS: ARRIBA, CRISTALES DE ANKERITA FIBRORADIADA DEPOSITADOS A MAS DE 200 C; EN EL CENTRO, SEDIMENTO FORMADO POR CARBONATOS ROJOS (HEMATITES), GRISES (PIRITA) Y BLANCO (CALCITA PURA), DEPOSITADOS A MENOS DE 70 C Y EN CONDICIONES CASI SUPERFICIALES SOBRE LA PECHBLENDA (NEGRO) QUE SE VE EN LA PARTE INFERIOR. DE LA FOTOGRAFIA.

impact of the Alpine Orogeny. The U-Pb systematics also suggests the possibility of an initial concentration of uranium during the Hercynian Orogeny with subsequent remobilization and ore genesis during Alpine tectonic activity.

The sequence of formation of minerals is shown in Figure 9.1. The first stage of hydrothermal mineralization, which consisted of veins of ankerite and iron sulphides, with accessory galena and traces of sphalerite and chalcopyrite, was preceded by chloritization of the adjacent wallrocks. The second stage was the most important in terms of uranium mineralization and involved deposition of adularia, iron sulphides, pitchblende (and minor coffinite), calcite and dolomite, followed by limited chloritization and hematitization of adularia and, rarely, further replacement of the chlorite and hematite by pitchblende and ankeritic carbonate. The third, and final, stage was characterized by repeated episodic deposition of assemblages of carbonates, iron sulphides, pitchblende and coffinite.

Minerals deposited during the first stage are well-crystallized (Fig. 9.4f). Subsequent stages are characterized by colloidal aggregates and the third stage also by rhythmically deposited fine-grained mineral assemblages in the remaining open spaces in the breccias and fractures (Fig. 9.4f and 9.5a, b, c). This final stage produced finely laminated sediments showing a variety of geopetal textures, such as graded bedding, low angle cross bedding (Fig. 9.5a), load casts and stalactitic structures of the carbonates (Fig. 9.5d). The sediments consist, in some cases, of colloform aggregates of calcite, pitchblende, coffinite and iron sulphides (Fig. 9.5a) and in others of clastic fragments of the wallrocks (Fig. 9.5e). These fragments were apparently derived from the enclosing mineralized veins and wallrocks and transported by fluid circulating through the breccias and fractures during the final stages of mineralization. In some examples the fragments show imbricate structures, indicating the direction of fluid flow (Fig. 9.5f). The existence of these cavities, partly or wholly filled by minerals deposited by gravity settling at low temperature (see fluid inclusion evidence below) and very shallow depth, and giving rise to geopetal textures, enables determination of the orientation of the veins at the time of deposition. Furthermore, the graded bedding and imbricated textures in these sediments are evidence of successive pulses of intense fluid flow.

9.2.3 - Fluid inclusion data

Mangas and Arribas (1984) have reported a fluid inclusion study of carbonates from the first and second stages of the mineralization. Measurable fluid inclusions were not found in the third stage carbonates. Homogenization temperatures (Th) showed a range from 230° to 60° C with maxima at 100° and 75° C and salinity from 0 to 26.3 wt percent NaCl equivalent. However, no simple relationship was found between Th and salinity.



FIGURA 9.4e- CORTA FE 3. LAS TRES GENERACIONES DE CARBONATOS FILONIANOS: LOS PRIMEROS, BIEN CRISTALIZADOS, SON AMARILLENOS Y RICOS EN HIERRO; LOS INTERMEDIOS, CRUSTIFORMES, SON ROSACEOS Y RICOS EN MANGANESO; LOS ULTIMOS, FINAMENTE LAMINADOS, SE DEPOSITARON POR GRAVEDAD Y A BAJA TEMPERATURA EN LOS HUECOS DE LOS ANTERIORES.

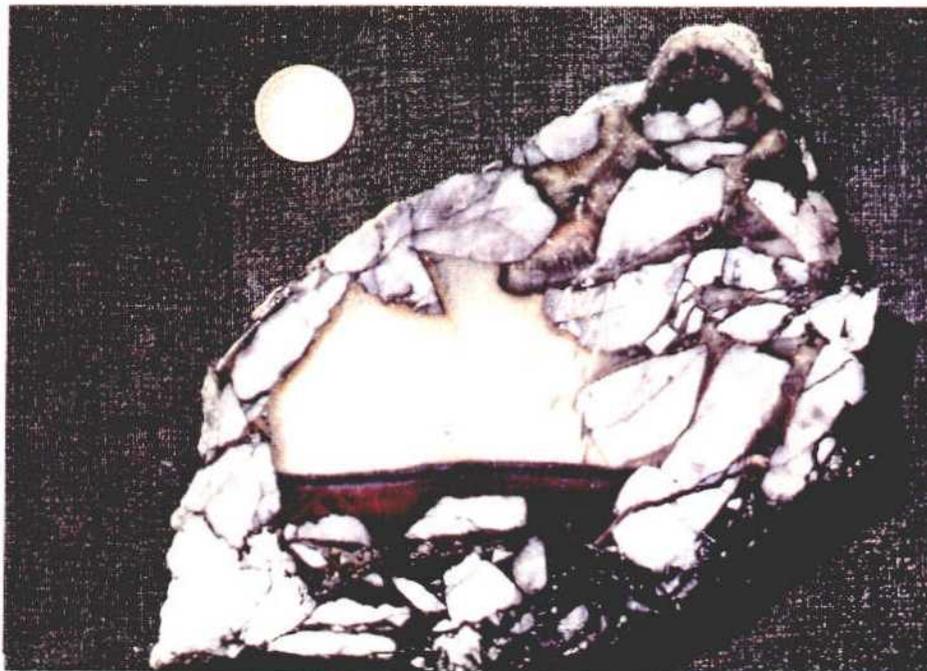


FIGURA 9.4f- CORTA FE 3, 1/2x. DURANTE LAS ETAPAS FINALES DEL PROCESO MINERALIZADOR, LOS CARBONATOS, SULFUROS DE HIERRO Y OXIDOS DE URANIO SE DEPOSITARON COMO SEDIMENTOS FINAMENTE LAMINADOS.

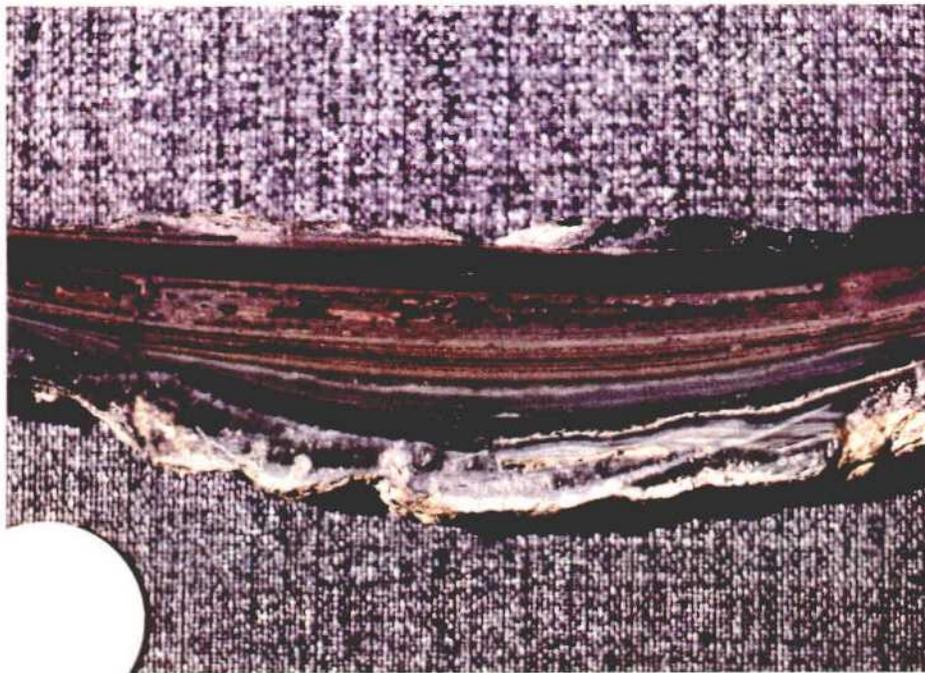


FIGURA 9.5a- CORTA FE 3, 1/2x. LA LAMINACION CRUZADA DE BAJO ANGULO QUE PRESENTAN LOS CARBONATOS, PIRITA Y PEGHLENDA TARDIOS, REVELA LA INTENSA ACTIVIDAD CINEMATICA DE LOS FLUIDOS.

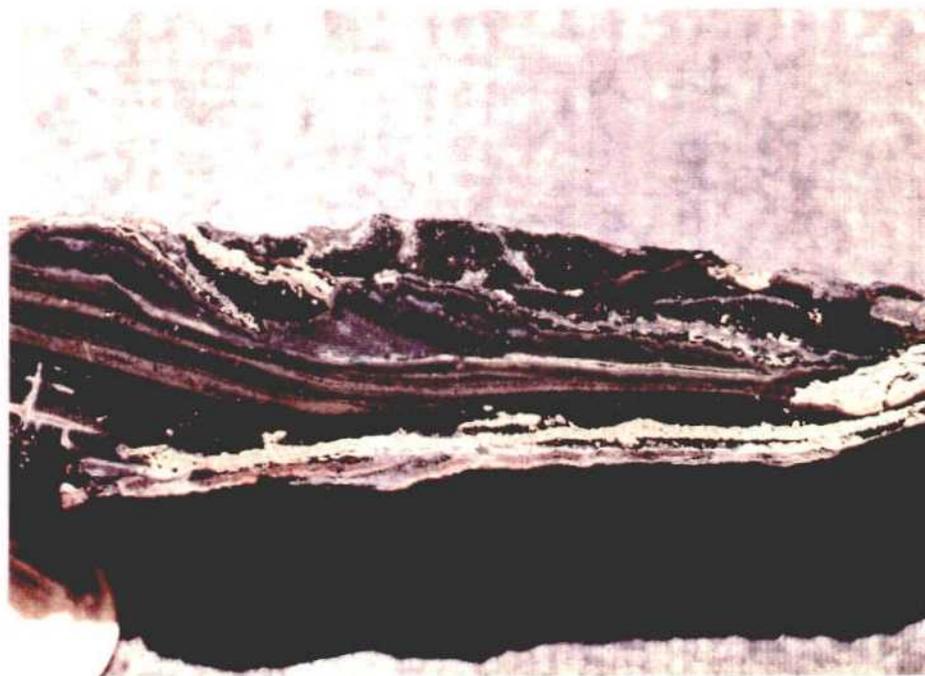


FIGURA 9.5b- CORTA FE 3, 1/2x. TEXTURAS GEOPETALES EN LOS MINERALES QUE SE DEPOSITARON EN LOS HUECOS DE LAS BRECHAS, EN UN AMBIENTE SUPERFICIAL Y A BAJA TEMPERATURA, COMO SEDIMENTOS LAMINADOS.



FIGURA 9.5c- CORTA FE 3, 1/2x. LOS FRAGMENTOS DE LOS SULFUROS DE HIERRO DE LA PRIMERA FASE HIDROTHERMAL, FRECUENTEMENTE BRECHIFICADOS Y RODEADOS POR LA PEBBLENDA Y COFFINITA DE LA POSTERIOR VENIDA URANIFERA, MUESTRAN UNA CARACTERISTICA ORIENTACION COMO CONSECUENCIA DEL FUERTE ARRASTRE AL QUE FUERON SOMETIDOS POR LAS SOLUCIONES MINERALIZADORAS.



FIGURA 9.5d- DURANTE LAS ULTIMAS ETAPAS DEL PROCESO MINERALIZADOR LOS CARBONATOS FORMARON ESTRUCTURAS ESTALACTITICAS.

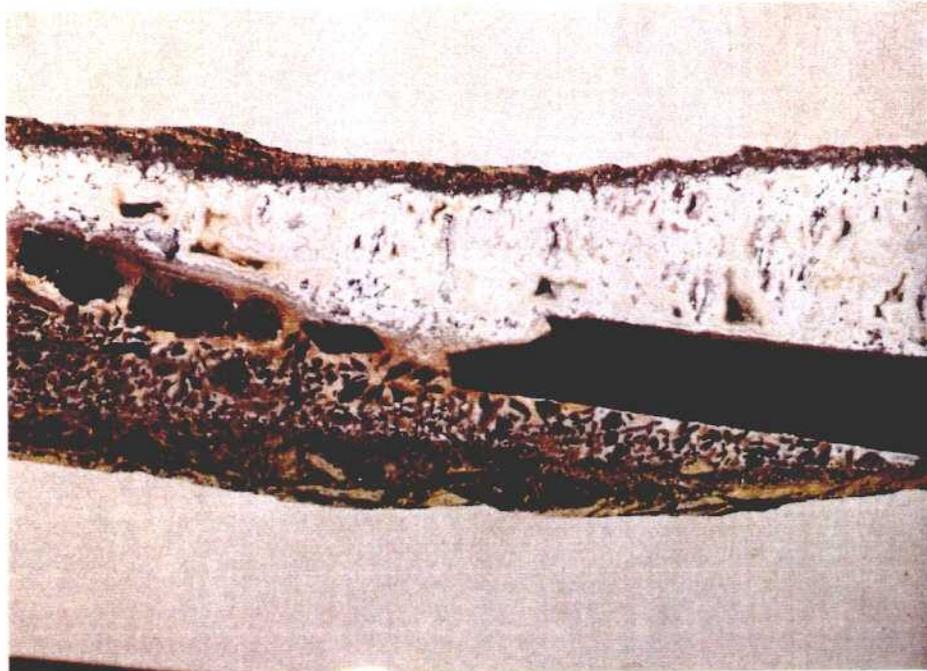


FIGURA 9.5e- LOS FRAGMENTOS CLASTICOS DE LAS BRECHAS MINERALIZADAS PUEDEN PERTENECER A LOS ESQUISTOS ENCAJANTES Y ESTAR PARCIALMENTE CLORITIZADOS Y HEMATIZADOS, Y LOS HUECOS FINALMENTE RELLENOS POR CARBONATOS ESTALACTITICOS.

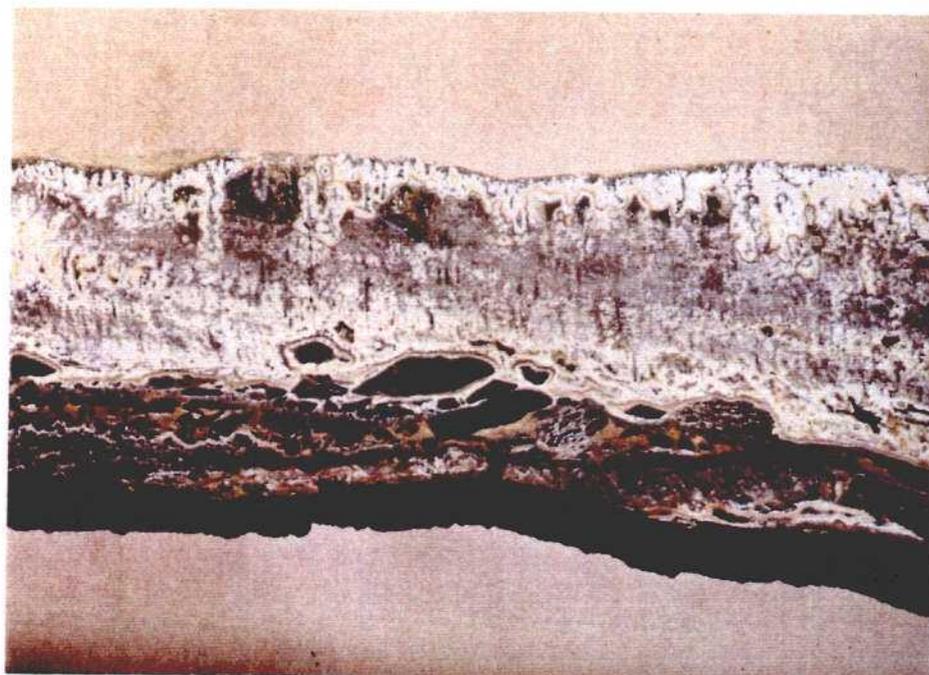


FIGURA 9.5f- EN ALGUNAS OCASIONES LOS FRAGMENTOS ESTAN IMBRICADOS LO QUE INDICARIA LA DIRECCION DE FLUJO DEL FLUIDO MINERALIZADOR.

First melting temperatures for fluid inclusions in the carbonates indicate the presence, in addition to the dominant Na(+) and Cl(-) ions, of other ions such as Ca(2+), Mg(2+), K(+), CO₃(2-) and/or HCO₃(-). Preliminary Raman microprobe analyses of fluid inclusions in three samples demonstrated the absence of CO₂, CH₄, N₂ and SO₂ in the vapour phase and of SO₄(2-) in the liquid phase.

Pressure-depth considerations indicate that deposition took place at shallow depths, but nevertheless sufficient to prevent boiling of the fluid. Mangas and Arribas interpreted the data as indicating that the temperature of the fluids decreased from 230° to 60° C during deposition of the first and second stage carbonates and, apparently, to sub-surficial temperatures in the final stage carbonates. The variation in salinity between fluid inclusions with similar Th was a result of mixing of ascending fluid and ground water. The fluid inclusion data clearly demonstrate that the mineralization was not formed by supergene processes, as proposed by Fernández Polo (1965) and Matos Dias and Soares de Andrade (1970)

9.3 - CHLORITE GEOCHEMISTRY

Two chlorite-bearing samples from breccia zones within the ore deposit were analysed by electron microprobe for chemical composition and the data processed according to the six-component solid solution model of Walshe (1986) to calculate temperature, fO₂ and fS₂. Both samples represent chlorite formed during the wallrock alteration stage.

Chlorite from both samples gave essentially similar results, with a cluster of temperatures between 282° and 268° C and smaller number of values down to a minimum of 173° C. The data define a trend of decreasing T, fO₂ and fS₂ that is interpreted as due to partial re-equilibration of the chlorite as the hydrothermal system cooled from a peak temperature of about 280° C. Since the chlorite deposition preceded that of the carbonates, the chlorite temperatures are consistent with the maximum of 230° C for homogenization temperatures in the carbonates (Mangas and Arribas, 1984).

9.4 - STABLE ISOTOPES

Twenty six carbonate and eight sulfide samples from the Fe ore deposit have been analysed for carbon and oxygen isotope and sulphur isotope composition, respectively. On the basis of textural characteristics of the mineral assemblages all 34 samples have been placed in a relative sequence of mineral deposition, consisting of 11 "sub-stages" (see Table 9.1) representing subdivisions of the 3 hydrothermal stages shown in Figure 9.1. Two samples of pyrite and 3 of graphitoid from the host rocks were also analysed.

TABLE 9.1- STABLE ISOTOPE ANALYSES OF CARBONATES AND SULFIDES, FE MINE

SAMPLE *(1)	MINERAL	PARAGENETIC STAGE ** (2)	13C(PBD)	180(SMOW)	34S
521-1	CALCITE	1	-7.3	23.6	-
521-2	CALCITE	3a	-11.3	22.7	-
521-3	CALCITE	3b	-14.0	23.1	-
521-4	CALCITE	3c	-18.5	23.9	-
521-5	CALCITE	3d	-23.6	24.2	-
506-1	CALCITE	2a	-9.6	22.5	-
506-2	CALCITE	2e	-9.1	24.3	-
506-3	CALCITE	2f	-7.8	24.7	-
12-1	ANKERITE	2b	-8.9	22.8	-
12-2	PYRITE+MARCASITE	2b	-	-	-26.3
505-1	CALCITE (+DOLOMITE)	2a	-7.9	25.0	-
505-2	CALCITE (+DOLOMITE)	2a	-8.7	24.9	-
505-3	CALCITE	2c	-8.9	22.5	-
505-4	CALCITE (+ANKERITE)	3a	-10.5	22.7	-
506-A1	PYRYTE + MARCASITE	2e	-	-	-50.7
506-A2	CALCITE	2f	-7.8	25.0	-
550-1	CALCITE (+ANKERITE)	2c	-8.2	25.1	-
550-2	DOLOMITE (+CALCITE +AMKERITE)	2c	-7.6	26.1	-
550-3	DOLOMITE (+CALCITE + ANKERITE)	2d	-7.5	27.6	-
550-4	CALCITE (+DOLOMITE)	2e	-7.5	26.1	-
550-A1	CALCITE (+DOLOMITE)	2c-	-7.8	25.8	-
550-A2	CALCITE (+DOLOMITE +ANKERITE)	2c	-8.3	25.0	-
550-A3	CALCITE (+DOLOMITE +ANKERITE)	2c+	-8.0	25.5	-
17-1	ANKERITE	2a	-8.2	24.2	-
17-2	DOLOMITE	2b	-7.2	23.4	-
523-B1	ANKERITE	2b	-9.0	25.5	-
523-B2	PYRITE	2b	-	-	-8.6
523-B3	CALCITE	3a	-10.7	23.0	-
13-A1	PYRITE	1	-	-	-12.5
13-A2	GALENA	1	-	-	-2.4
13-A3	ANKERITE	2f	-8.4	26.9	-
19	PYRITE +MARCASITE	3a	-	-	-50.4
522-A1	PYRITE + MARCASITE	3a	-	-	-48.6
529-1	PYRITE + MARCASITE	2f	-	-	-51.3
3	PYRITE (IN BLACK SHALE)	-	-	-	-8.2
4	PYRITE (IN BLACK SHALE)	-	-	-	-9.6
524	GRAPHITOID (IN PISTOLA BRECCIA)	-	-26.2	-	-
1	GRAPHITOID (IN GRAFITOSA FAULT)	-	-24.8	-	-
2	GRAPHITOID (IN GRAFITOSA FAULT)	-	-24.9	-	-

*(1) Minerals in parenthesis are minor constituents.

** (2) 1 corresponds to the early stage of Figure 9.3, 2a-f to the main stage and 3a-d to the late stage.

9.4.1 - Oxygen isotopes

$\delta(18) O(\text{smow})$ values of the carbonates range from 22.5 to 27.6 permil (Table 9.1). There is no convincing evidence of any trend in the values with respect to time, although there is some suggestion of an increase in $\delta(18) O$ (with considerable scatter) from stage 1 to 2f, followed by a sharp decrease to stage 3a and then an increase through to stage 3d (Fig. 9.3).

The main significance of the oxygen isotope data lies in possible implications for the origin of the fluid associated with the mineralization. The fluid inclusion data of Mangas and Arribas (1984) enable some calculations of the oxygen isotopic composition of the water according to the relationship (O'Neill et al, 1969).

$$\delta(18) O(\text{H}_2\text{O}) = \delta(18) O(\text{calcite}) + 3.9 - (2.78 \times 10^{-6} / T^2)$$

In the absence of detailed fluid inclusion data for each sample analysed for $\delta(18) O$ it is not possible to calculate a specific $\delta(18) O(\text{H}_2\text{O})$ value for each sample, but some limiting values may be calculated using the temperature data of Mangas and Arribas. Using a temperature range of 230° to 60°C for deposition of the first and second stage carbonates (ie. from stage 1 through to stage 2f), a range of $\delta(18) O(\text{H}_2\text{O})$ composition from 16.0 permil (sample 521-1) to 3.3 permil (sample 506-A2) or 3.0 permil (sample FE506-3) is indicated.

The temperatures during deposition of stage 3 carbonates are not known but were presumably less than 60°C, suggesting that $\delta(18) O(\text{H}_2\text{O})$ values would have close to zero.

The $\delta(18) O(\text{H}_2\text{O})$ range is greater than would be expected for magmatic water (Ohmoto, 1986; Sheppard, 1986). Although this range could suggest an origin involving metamorphic water, geological and geochronological evidence (see above) indicate deposition of the ore much later than the metamorphism that affected the CEG rocks. The high $\delta(18) O(\text{H}_2\text{O})$ values for early stages of mineralization suggest extensive interaction of the hydrothermal fluid with metasediments of the CEG, whereas the much lower values for later stages indicate involvement of cooler, less evolved water in the hydrothermal system. In particular, the abrupt shift in $\delta(18) O$ of the carbonate minerals from stage 2f to 3a may have been caused by a rapid influx of cool groundwater into the hydrothermal system as a consequence of the brecciation that marked the end of the second stage of mineralization.

The observed range in composition could be produced by isotope exchange between meteoric water or seawater and sedimentary host rocks in a geothermal system. The Fe environment was clearly not that of a typical geothermal system, driven by heat from cooling volcanic or subvolcanic rocks, but Arribas (1985) has commented on the similarity between the mineral assemblage of the Fe ore with alteration assemblages observed in geothermal systems, particularly the Cesano field, Italy.

Arribas (1985) also proposed that the Fe mineralization formed by episodic mobilization of uranium from the carbonaceous slates of the CEG by fluid movement associated with Alpine tectonic activity, probably as a result of seismic pumping processes. According to the seismic pumping model (Sibson et al, 1975), shallow earthquakes are preceded by the development of dilation zones in response to rising tectonic shear stress, inducing the inflow of pore fluid from the surrounding crust. The rapid relief of shear stress that accompanies earthquake faulting causes the dilatant zone to collapse and fluid contained in the fractures to be expelled upwards through the fault and associated fractures. Arribas suggested that the uranium and other components of the mineralization were derived largely by dissolution from carbonaceous slates and that ore deposition was controlled by the fracture and breccia zones in the CEG. In such a process, groundwater or connate water could have undergone extensive isotope exchange with the CEG rocks and acquired stable isotope characteristics resembling geothermal waters. Paleogeographic considerations indicate that groundwater at that time (35 M.a.) would have been of meteoric rather than marine origin.

9.4.2. Carbon isotopes

$\delta(13) C$ values of the carbonates (Table 9.1) show a well-defined trend with respect to time (Fig. 9.3): values in the carbonates in stages 1 to 2f show relatively little variation (range = -7.3 to -9.6 permil) but then decline sharply from stage 3a (average = -10.8 permil) to stage 3f (-18.5 permil). This trend to more negative $\delta(13) C$ values is the reverse of that observed in many hydrothermal ore deposits (Rye and Ohmoto, 1974).

Fluid inclusion studies of the carbonates by Mangas and Arribas (1984) indicate the possible presence of the carbon species $CO(3-)$ or $HCO(3-)$ and the absence of CO_2 and CH_4 . The absence of CH_4 indicates that the fluid was relatively high in fO_2 and in this case $\delta(13) C(\text{carb.min.}) \approx \delta(13) C(\Sigma CO_2) \approx \delta(13) C(\Sigma C)$ (Ohmoto, 1972). High fO_2 conditions at certain times during the latter stages of mineralization are also indicated by the presence of minor amounts of hematite (Fig. 9.1).

Whereas the oxygen isotope data indicate the influx of shallow groundwater into the hydrothermal system during the later stages of mineralization, the carbon isotope data show that the carbon in the carbonates was derived solely from the hydrothermal fluid. It is also possible that the fluids prior to stage 3 contained a significant component of carbon derived from reaction with graphitoid. As shown by Ohmoto (1986), at temperatures above about 100°C.

$$\delta(13) C(\Sigma CO_2) = \delta(13) C((\text{carb.min.})-\text{carb.min.} - H_2CO_3^*)$$

Although the temperatures for various stages are not well constrained, it is likely that the fluid temperature was about 100°C during stage 2d or 2e ($\delta \text{ carb.min.} = -7.5$ to -9.1 permil).

According to fractionation data of Ohmoto and Rye (1979), at 100°C (calcite - H₂CO₃*) = 4.0 and (dolomite - H₂CO₃*) = 5.5. Hence, for stages 2d to and 2e, δ(13) C(ΣCO₂) may have been approximately -13 permil, suggesting that the organic component of the fluid was significant prior to stage 3.

Kelly and Rye (1979) found that the isotopic composition of carbonates in the Panasqueira Sn-W deposit, Portugal, hosted by the Beira Schist (equivalente to the greywacke-schist complex), also indicates a graphitic or organic component for the hydrothermal carbon in that deposit.

In view of the suggestion that anaerobic bacteria were involved in the formation of pyrite from the low temperature fluids during the later stages of mineralization (see below), it is possible that the trend to more negative δ(13) C values could be due to bacteriogenic processes. However, the δ(13) C contents of the carbonates might in this case be expected to show a more erratic distribution rather than the consistent trend observed.

9.4.3. Sulfur isotopes

Early sulfides (stages 1 to 2b) have δ(34) S values between -2.4 and -26.3 permil (Fig. 9.3). Two analyses of pyrite from the host rocks gave values of -8.2 and -9.6 permil (Table 9.1), suggesting that biogenic pyrite in the host rocks could have been the major source of sulfur in the hydrothermal fluid. Later pyrite (+marcasite), from stages 2e to 3a, is characterised by extremely low δ(34) S values (-48.6 to -51.3 permil). This extreme fractionation (approximately 40 permil if δ(34) S(fluid) ≈ -10 permil is assumed) is comparable with that resulting from bacterial reduction in euxinic systems (Schwarcz and Burnie, 1973) and suggests that these sulfides may have formed as a consequence of bacterial reduction in the near-surface cavities, of SO₄(-) to H₂S from a low temperature fluid (T ≤ 50°C: Ohmoto, 1979). If so, this means that sulfur was present, at least in the late stage fluid, as an oxidised species (SO₄(-) or HS₀₄(-)). This is in keeping with the evidence discussed above for an oxidised fluid (see carbon isotopes) and also with the requirements for transport of uranium.

9.5 - SUMMARY AND CONCLUSIONS

The Fe deposit is the largest known breccia-hosted uranium deposit in the Hercynian basement of the Iberian Meseta. All of the deposits of this type show similar geological characteristics (eg. in terms of structural control, wallrock alteration, mineralogy and textural features of the mineralization) and a common model is required to explain their origin.

The majority of the deposits occur in breccia zones within the metasediments of the CEG located close to contacts with granite bodies. However, the Fe deposit is 5 km from the nearest outcropping granite and drilling has not encountered granite

below the deposit. The absence of a direct genetic relationship with the granites is also demonstrated by U-Pb dating on pitchblende from the Fe and Alameda deposits (Saint-Andre and Arribas, 1987). The 35 Ma age is far too young for the ore to have been derived, at least in its present form, from Hercynian magmatism, although the U-Pb systematics do suggest the possibility of an initial concentration of uranium in the CEG during the Hercynian Orogeny. Calculated oxygen isotope compositions of the hydrothermal fluid are also not compatible with a magmatic source.

The supergene model (Fernández Polo, 1965; Matos Dias and Soares de Andrade, 1970) can be discounted on the basis of the geochronological and mineralogical evidence and geothermometric data. The pitchblende age demonstrates that the ore was deposited prior to development of the Pliocene peneplain, and the presence of adularia and the homogenization temperatures of up to 230°C for fluid inclusions in the carbonates and temperatures of up to 282°C calculated for chlorite in the wallrock alteration assemblage show that the ore-forming fluids were hypogene rather than supergene.

The observation that some of the carbonaceous slates within the CEG have highly anomalous uranium contents (up to 200 ppm) led Arribas et al., (1983, 1984) to propose an origin involving remobilization of uranium from these metasediments into breccia zones. The age of the pitchblende suggests that the remobilization could have been a consequence of the impact of the Pyrenean phase of the Alpine Orogeny on the Hercynian basement.

The Iberian Peninsula deposits have many features in common with the vein-type uranium deposits of the Front Range (Colorado) and Midnite (Washington), and the ore genesis models proposed for these deposits are generally similar to the Fe model discussed above.

The Front Range deposits are hosted by Proterozoic metavolcanic and metasedimentary rocks, in fault systems that originated in the Proterozoic but were reactivated during the late Cretaceous-early Tertiary Laramide uplift (Wallace and Karlson, 1985).

Mineralogical studies on the largest of the deposits, Schwartzwalder (Wallace and Whelan, 1986), reveal many similarities with Fe, the main difference being the presence in Schwartzwalder of sericite as a wallrock alteration product and a greater abundance of sulfide minerals. The ore genesis model proposed by Wallace and Whelan, on the basis of geological and stable isotope data, involves a hydrothermal system in which water trapped along basement faults and in the regolith between the basement and overlying Paleozoic sedimentary rocks interacted with the basement rocks as a result of regional heating. The fluids leached uranium and other constituents from the metavolcanic and metasedimentary basement rocks and migrated along the fracture systems to zones of low hydraulic potential. Wallace and Whelan suggest that seismic pumping may have driven the fluids into the fracture zones.

The Midnite deposit occurs in sheared and fractured rocks in Proterozoic metasedimentary rocks close to the margin of a porphyritic quartz monzonite of late Cretaceous age (Nash, 1977). The absence of adularia and the paucity of carbonate gangue are the most significant differences compared to Fe. U-Pb systematics indicate formation of the deposits as a result of mildly heated meteoric water causing enrichment of a preexisting low grade protore (Ludwig et al., 1981). The protore may have been formed by hydrothermal processes associated with intrusion of the porphyritic quartz monzonite.

As far as the Fe mine is concerned, mineralogical, fluid inclusions and stable isotope data on the Fe mineralization suggest a model for ore formation generally similar to those proposed for the Front Range and Midnite deposits, particularly the former. Oxygen and carbon isotope analysis demonstrate that the hydrothermal fluid was derived from meteoric water that was heated and underwent isotope exchange with the metasedimentary rocks. The oxygen isotope data show that the early fluid was highly evolved whereas latter fluid was less evolved and probably resulted from mixing of hydrothermal fluid with shallow groundwater. Carbon isotope data indicate that carbon in the carbonate gangue minerals was derived from carbonates and graphitoid in the metasediments. A trend to more negative $\delta(13)C$ values in the latter stages of mineralization indicates a progressive increase in the graphitoid-derived component.

Sulfur isotope data are compatible with the sulfur having been derived from biogenic pyrite in the metasediments and the minor amounts of pyrite in the late stage mineralization have extremely low $\delta(34)S$ values, suggesting that biogenic reduction of $SO_4(-)$ to H_2S took place on the subsurface cavities that were the sites of last stage mineral deposition.

Based on current geological knowledge of the Fe deposit and the stable isotope data presented above, the most appropriate model for the origin of the deposit is that of a hydrothermal system operating in response to Alpine tectonic activity in the lower to middle Tertiary. Extensive, steeply-dipping faults permitted the deep penetration of meteoric water which became heated and reacted with the metasedimentary rocks. Uranium and other components of the mineralization, such as Mg, Ca, K, Fe, Mn, C and S were derived by leaching from the metasediments. The hydrothermal system may, as suggested by Arribas (1985), have been driven by seismic pumping processes.

The model of Sibson et al. (1975) offers a realistic explanation, not only of the association of the mineralization with fracture and breccia zones, but also of the episodic nature of mineral deposition as evidenced by textural features. Sibson et al. have noted that considerable amounts of water can be expelled towards the surface by seismic pumping. For example, the Matsushiro earthquake swarm was accompanied by the surface expulsion in one year of about 10^{10} litres of warm, saline fluid, saturated with carbon dioxide (Tsuneishi and Nakamura, 1970). The heat source for the Fe hydrothermal system may have

resulted from conversion of mechanical energy into heat during tectonic deformation in an analogous way to that which takes place in major shear zones (Brun and Cobbold, 1980; Fleitout and Froidevaux, 1980). In the vicinity of the Fe mine, there are numerous and important faults and fractures related to shearing that, although not comparable in size with the shear zones produced, at much deeper levels, at the end of the Paleozoic, could be the result of deformation in the Hercynian basement by the Alpine orogeny. The heat generated would then have dissipated towards the surface by fluids that were expelled through fracture and breccia systems following the collapse of the dilatant zones.

Alternatively, the heat source could have been related to crustal thinning during development of the Ciudad Rodrigo basin.

ACKNOWLEDGMENTS

We would like to express our gratitude to the geologists and mining engineers of ENUSA for their assistance and friendly cooperation at all times.

REFERENCES

- Arnaiz, J., Ruiz, B., and Ruiz, J., 1989:** Update of uranium resources in Spain; U deposits in the Salamanca province: IAEA, Technical Committee Meeting on Uranium Resources and Geology in Europe, Mariauské Láznê, Czechoslovakia (in press).
- Arribas, A., 1960:** Mineralogy of Spanish uranium deposits: XXII. Int. Geol. Congr., Copenhagen. V. 15, p. 98-108.
- Arribas, A., 1962:** Mineralogía y metalogenia de los yacimientos españoles de uranio: las pizarras uraníferas de la provincia de Salamanca: Estudios geológicos, v. 18, p. 155-172.
- Arribas, A., 1970:** Las pizarras uraníferas de la provincia de Salamanca: Studia Geológica Salamantica, v. 1. p. 7-45.
- Arribas, A., 1975:** Caracteres geológicos de los yacimientos españoles de uranio: Studia Geológica Salamantica, v. 9. p. 7-63.
- Arribas, A., 1985.** Origen, transporte y deposición del uranio en los yacimientos en pizarras de la provincia de Salamanca: Estudios geológicos, v. 41. 301-321.
- Arribas, A. 1987.** Sobre el origen de las mineralizaciones españolas de uranio en rocas metasedimentarias: Boletín Geológico y Minero, V. XCVIII-V, p. 705-711.

Arribas, A.; Martín-Izard, A. and Montes, J., 1983. Las mineralizaciones de uranio en la zona de Alameda de Gardón y su posición en el contexto geotectónico y metalogénico de las pizarras del oeste de la provincia de Salamanca: *Studia Geológica Salamanticensia*, V. 18, p. 201-224.

Arribas, A.; Martín-Izard, A. and Montes, J., 1984. Distribución geoquímica del uranio en los metasedimentos del oeste de la provincia de Salamanca: VII Congr. Int. Min. y Met., Barcelona, V.1, p. 353-357.

Bello, J.P., Criado, M. and Ríos, J.M. (1988). Análisis de los resultados obtenidos con voladuras en banco de 3 y 6 m. en Mina Fé: VIII Congr. Int. Min. y Met., Oviedo, 2, pp. 209-231.

Brun, J.P. and Cobbold, P.R., 1980. Strain heating and thermal softening in continental shear zones: a review: *J. Struct. Geol.*, V. 2, p. 149-158.

Coma, F., 1985. Litología, tectónica y mineralización del yacimiento Fé, Saelices y Chico (Salamanca): *Studia Geológica Salamanticensia*, V. 20, 7-18.

Fernández Polo, S.A., 1965. Génesis de los yacimientos uraníferos en metasedimentos de Salamanca (España): Coloquio Luso-Hispano-Francés de Miner, Uranif. Metased., JEN. Madrid

Fleitout, L. and Froidevaux, C., 1980. Thermal and mechanical evolution of shear zones: *J. Struct. Geol.*, V.2, p. 159-164.

Kelly, W.C. and Rye, R.D., 1979. Geologic, fluid inclusion and stable isotope studies of the tin-tungsten deposits of Panasqueira, Portugal: *Econ. Geol.*, V. 74, p. 1721-1822.

Ludwig, K.R., Nash, J.T. and Naeser, C.W., 1981. U-Pb systematics and age of uranium mineralization. Midnite mina, Washington: *Econ. Geol.*, V. 76, p. 89-110.

Mangas, J. and Arribas, A. 1984. Características físico-químicas de los fluidos asociados con las mineralizaciones de uranio de mina Fé (Salamanca): VII Congr. Int. Min. y Met., Barcelona, V. 1, p. 435-451.

Martín-Izard, A. 1988. Estratigrafía y sedimentología del Complejo Esquisto Grauváquico en la zona de Ciudad Rodrigo (Salamanca): *Studia Geológica Salamanticensia*, V. 25.

Martín-Izard, A. 1989. Los yacimientos de uranio en pizarras. Diputación de Salamanca, Serie Ciencias, 4, 238 p.

Matos Dias, J.M. and Soares de Andrade, A.A., 1970. Uranium deposits in Portugal: *Uran. Expl. Geol.*, IAEA, Vienna. p. 129-252.

Nash, T. 1977. Geology of the Midnite uranium mine area. Washington. Map, description and interpretation: U.S. Geol. Surv. Open-file report 77-592.

Oen-Ing Soen, 1970. Granite intrusion, folding and metamorphism in central northern Portugal. *Bol. Geol. Min.* (2-3), p. 271-298.

Ohmoto, H. 1972. Systematics of sulphur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits: *Econ. Geol.*, V. 67, p. 551-579.

Ohmoto, H., 1986. Stable isotope geochemistry of ore deposits, in Valley, J.W., Taylor, H.P. Jr. and O'Neil, J.R. eds. *Stable isotopes in high temperature geological processes: Reviews in Mineralogy*, v.6., p. 491-559.

Ohmoto, H. and **Rye**, R.D. 1979. Isotopes of sulfur and carbon, in Barnes, H.L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 2nd ed.: J. Wiley and Sons, New York, p. 509-567.

O'Neil, J.R.; **Clayton**, R.N. and **Mayeda**, T.K., 1969. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates: *J. Chem. Phys.*, V. 51, p. 5547-5558.

Rye, R.D. and **Ohmoto**, H., 1974. Sulfur and carbon isotopes and ore genesis: a review: *Econ. Geol.*, V. 69, p. 826-842.

Saint-Andre, B.de and **Arribas**, A. 1987. U-Pb systematics and the age of the vein-like uranium deposits in metasedimentary rocks: the case of the Fé orebody, Salamanca (Spain): NATO Advanced Institute "Geochemistry of Hydrothermal Ore Forming Processes", Salamanca, January 1987 (Oral presentation).

Schwarcz, H.P. and **Burnie**, S.W. 1973. Influence of sedimentary environments on sulfur isotope ratios in clastic rocks: a review: *Mineral. Deposita*, V. 8, p. 264-277.

Sheppard, S.M.F., 1986. Characterization and isotopic variations in natural waters, in Valley, J.W., Taylor, H.P. Jr., and O'Neil, J.R. eds., *Stable isotopes in high temperature geological processes: Reviews in Mineralogy*, V.6, p. 165-185.

Sibson, R.H., **Moore**, J. McM. and **Rankin**, A.H. 1975. Seismic pumping - a hydrothermal fluid transport mechanism: *J. Geol. Soc. Lond.*, V. 131, p. 653-659.

Truesdell, A. H., 1974. Oxygen isotope activities and concentrations in aqueous salt solutions at elevated temperatures: consequences for isotope geochemistry: *Earth Planet. Sci. Lett.*, V. 23, p. 387-396.

Tsuneishi, Y. and **Nakamura**, K. 1970. Faulting associated with earthquakes: *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ.*, V. 48, p. 29-51.

Wallace, A.R. and **Karlson**, R.C., 1985. The Schwartzwald uranium deposit, I: Geology and structural controls on mineralization. *Econ. Geol.*, V. 80, p. 1842-1857.

Wallace, A.R., and Whelan, J.F., 1986. The Schwartzwalder uranium deposit. III: Alteration, vein mineralization, light stable isotopes and genesis of the deposit: *Econ. Geol.*, v.81, p 872-888.

Walshe, J.L., 1986. A six-component solid solution model and the conditions of chlorite formation in hydrothermal and geothermal systems: *Econ. Geol.*, v. 81, p 681-703.

URÂNIO

AREA DE NISA (PORTUGAL)
AREA DE AZERE (PORTUGAL)



CAPITULO 10 - URANIO EN LAS AREAS DE AZERE Y NISA (PORTUGAL).

J.M.Matos Dias; J.A.Correia Marques; M.J. Botelho Ponte;
& A. Borges Campos.

10.1 CARACTERIZAÇÃO GEOLOGICO-ESTRUTURAL DAS REGIOES DE ÁZERE E NISA

10.1.1 Região de Ázere

10.1.1.1 Localização e enquadramento geológico

A região designada por Ázere, corresponde na sua quase totalidade, à área abrangida pelas cartas dos S.C.E. (escala 1/25.000), nos 190, 210, 211, 221 e 222 e a áreas parcelares, nas cartas limítrofes.

As formações geológicas aflorantes são predominantemente os granitos hercínicos e as formações fliohóides do Complexo-Xisto-Grauváquico, (C.X.G.), intruídas por eles.

O maciço eruptivo forma como que uma larga protuberância, embutida na formação metassedimentar, que a envolve pelos lados Este, Sul e Oeste (Fig.10.1)

10.1.1.2 Caracterização sumária das formações

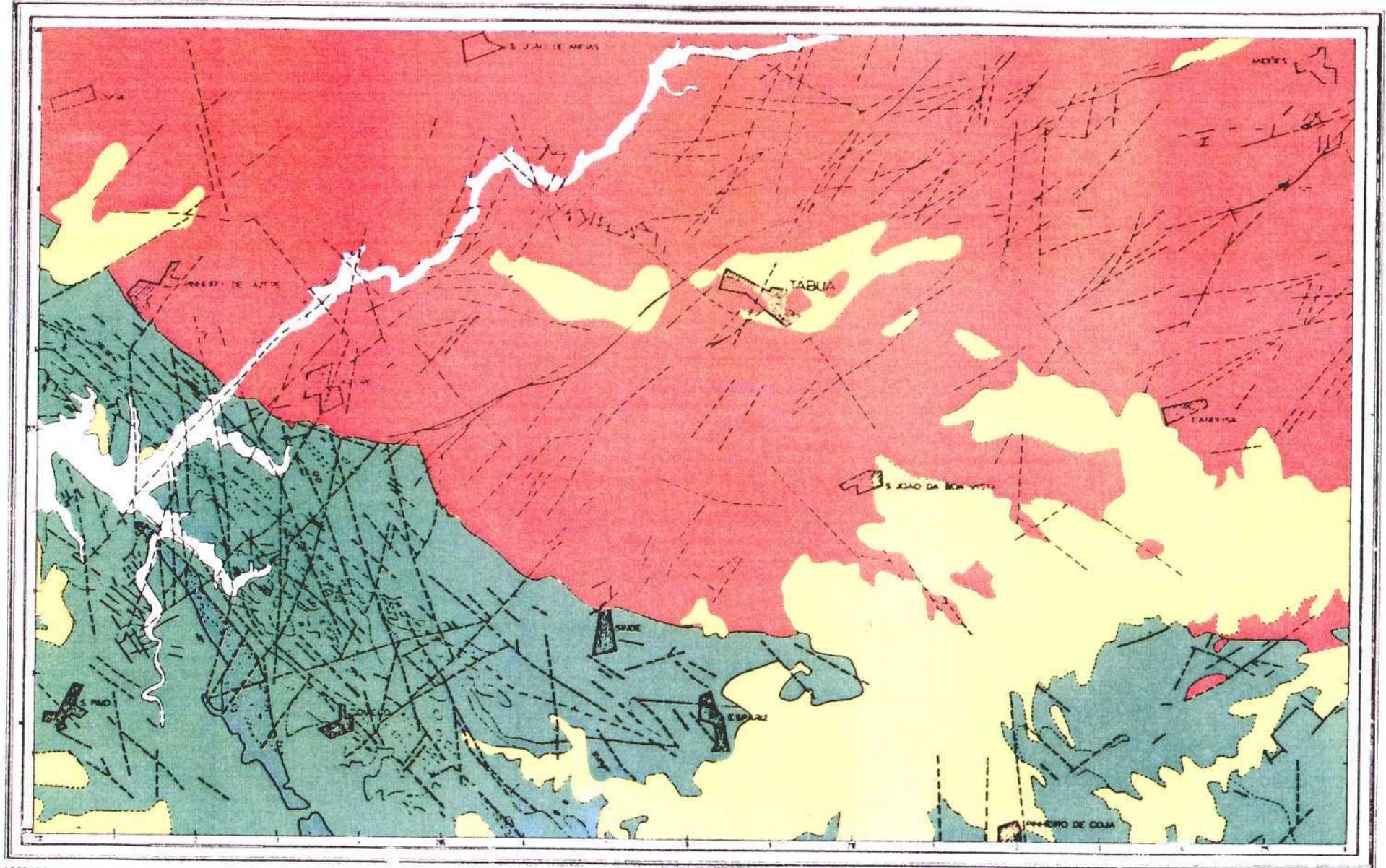
10.1.1.2.1 Complexo Xisto-Grauváquico (C.X.G.) - ante-Ordovícico

Neste complexo foi possível individualizar três unidades:

Uma é essencialmente filitosa, de cor cinza a amarelada, outra é caracterizada pela alternância de filitos e metagrauvaques mais ou menos espessos, de tom em geral amarelados e uma terceira com presença de níveis de espessura variável de metaquartzitos, de cor cinza, alternando com filitos e metagrauvaques.

Estas três unidades não se revelaram até hoje fossilíferas.

As associações paragenéticas dos filitos e metagrauvaques são



163

LEGENDA

- Complexo visto-praváquico
- Quartzitos do Ordovício
- Granito hercínico
- Depósito de cobertura
- Falha

ESCALA GRÁFICA



FIGURA 10.1- ESQUEMA GEOLÓGICO-ESTRUTURAL. ÁREA DE AZERE.

semelhantes quartzo+sericite, variando unicamente as percentagens dos constituintes nas duas rochas.

Os metaquartzitos são constituídos por quartzo+clorite e quando impuros apresentam também sericite.

Nas zonas peribatolíticas do C.X.G., desenvolveu-se um metamorfismo de contacto, que evidencia os seus fenómenos típicos, numa faixa de 1 a 1,5 Km (lenticulas pouco desenvolvidas e descontínuas de corneanas quartzo-biotíticas com cordierite e uma orla de xistos mosqueados de cordierite).

10.1.1.2.2 Quartzitos do Ordovícico

No canto SW da área, sobre o C.X.G., dispõe-se uma formação, essencialmente quartzítica de idade Ordovícica (Foto 3).

Na sua base é possível distinguir uma unidade aonde alternam xistos e grauvaques, por vezes microconglomeráticos e siliciosos, de cor violácea, frequentemente fossilíferos, atribuível ao Tremadociano (Fotos 1 e 2).

Para o topo passa a uma unidade de quartzitos maciços, também fossilíferos, através dum conglomerado não contínuo e de espessura variável. Numa posição estratigraficamente superior ocorrem xistos de cor cinza, atribuíveis ao Lanvirniano.

10.1.1.2.3 Granito hercínico

O granito predominante na área de Azere, é grosseiro, porfiróide, de duas micas (com domínio da biotite) e de tendência monzonítica.

No entanto aparecem também, zonas de granito granular, de duas micas e algumas manchas subordinadas de granito fino, geralmente encaixado em granito de grão grosseiro.

São frequentes as inclusões em diferentes estádios de assimilação (xenólitos), principalmente na bordadura do batólito e é fácil a identificação macroscópica da cordierite, não só

nas proximidades do contacto, mas ainda mais longe da zona de bordadura, em pleno maciço granítico (Foto 4).

10.1.1.2.4 Depósitos de cobertura continentais

Na sua generalidade são constituídos por materiais grosseiros, alternando com níveis arcóscicos mais finos e com níveis argilosos, quase sempre mal consolidados. São depósitos de tendência polimitica com calhaus de quartzo rolado e abundantes patelas de xisto e grauvaque, quase sempre mal calibrados e alterados. São claramente originários das formações envolventes. Estes depósitos, que cobrem o soco, constituindo retalhos de orientação NE/SW, são testemunhos do resto da cobertura de antiga superfície de aplanção terciária. Ao membro inferior destes depósitos foi atribuída idade Cretácica Superior.

10.1.1.3 Síntese estrutural

Sobre a idade do C.X.G. a diversidade de opiniões é grande, embora seja considerado genericamente ante-Ordovícico.

Achamos possível considerá-lo como de idade Precâmbrica Superior, nesta área.

Um dos argumentos a favor desta posição é que o C.X.G. se apresenta intruído e metamorfozido pelo granito de Figueiró (50 Km a SW de Azere) cuja idade K-Ar da moscovite é de 560 MA (Gama Pereira e R. Macedo, 1983). Esta datação, próxima da idade definida para a Série Intercalar (L. Conde, 1971) com a discordância cartográfica sobre o C.X.G., e a ocorrência de pórfiros com 580 MA, parece fazer recuar o quadro fenomenológico.

A constatação da desarmonia e discordância entre o dobramento do C.X.G. e do Ordovícico leva-nos a admitir que aquela formação foi afectada por uma orogenia ante-hercínica de que resultaram

dobras largas, sem clivagem de plano axial e de eixos subhorizontais de rumo NE-SW (de idade provavelmente Cadomiana). Foram evidenciados (Oen Ing Soen, 1970) dobramentos do C.X.G. a NE e SW da crista Ordovícica Porto-Sátão, que se afiguram similares aos da Região de Azere.

No flanco SW, o autor desenha as dobras FH1 de eixo verticalizado, mas no flanco NE elas não estão representadas e o autor refere no texto (pág. 163): "Strong isoclinal refolding of the Beira Schists may locally have obscured the angular unconformity between the Beira Schists and the Ordovician quartzites as, e.g., along the N - flank of the Porto-Sátão Syncline".

Ora esta deformação violenta, numa área dominada por filitos e grauvaques como é a que fica a NE do Ordovícico, em Azere, não só mascara a discordância entre as duas formações como também não permite reconhecer o redobramento que aí se processou, dado o paralelismo dos flancos das dobras.

Esse redobramento é tão apertado, que de tão comprimidas, chegam a "boudinar" e a transformar-se litológicamente (ex: grauvaques dão quartzitos e xisto, ou quartzito de exsudação e xisto). Em relatório interno de Portugal Ferreira (1982) afirma-se: O C.X.G. inicial seria muito mais rico em grauvaques que actualmente. A proporção de filitos aumenta com a deformação. Consequentemente admite-se que os metassedimentos já estariam dobrados, antes de serem redobrados conjuntamente com a sequência Ordovícico-Silúrico-Devónico.

Este redobramento, na 1ª Fase Hercínica (FH1), consequência de tensões principais N30-40E, terá originado dobras em harmónio com dobras de eixo verticalizado ou vergentes para NW-NE e com planos axiais de rumo NW/SE.

Os planos axiais do dobramento Cadomiano rodam e adaptam-se também àquela direcção. Ao mesmo tempo, as suas dobras tornam-se apertadas, isoclinais e de charneiras agudas.

Surge então simultâneamente uma clivagem de plano axial, tanto

no dobramento de eixo vertical (S1) como no de eixo sub-horizontal (S1'), especialmente visível nas charneiras das respectivas dobras e nos flancos, quando as dobras são menos apertadas, como acontece nos metassedimentos do C.X.G. a SW da crista Ordovícica.

Para NE desta crista, o C.X.G. exhibe muito raramente as charneiras destas dobras. Quando visíveis é possível identificar a lineação (L1), correspondente à intersecção de S0 com a clivagem de plano axial.

Nos flancos, verifica-se o paralelismo entre estas foliações, devido ao carácter extremamente apertado de dobramento, que acaba por originar movimentação cizalhante nas interfaces de S0 e recristalização acentuada em S1.

Atribui-se esta diferença do comportamento do C.X.G. nestes dois sectores, ao facto de o referido sector SW ser mais quartzítico, do que o sector NE, que é bastante mais filitoso.

Os níveis quartzíticos, frequentemente métricos, deverão ser mais adequados à modelagem e preservação dum dobramento menos agudo e capaz de evidenciar os aspectos estruturais referidos.

Estes fenómenos marcam o final de FH1, após a qual os sedimentos Paleozóicos, com orientação geral N50-60W, ainda sujeitos às mesmas forças de tensão regional ($G_1 \approx N30-40E$), começam a fracturar ao passarem a um estágio de formação semiductil.

As referidas tensões parecem favorecer deformações cizalhantes esquerdas de direcção, N60E (R'), direitas N-S (R) e de tracção, N30E.

Nas zonas aonde estes sistemas de fractura se evidenciam, podem observar-se também outras fracturas do tipo P e X, respectivamente N30W, direitas e E-W, esquerdas, que se vão implantando à medida que a compressão frontal se transforma em tangencial, obedecendo assim a uma deformação concebida como um sistema de Riedel.

A orientação geral da foliação nos sedimentos paleozóicos, N50-60W (FH1), por acção da deformação associada às direcções

de fractura de movimentação direita, poderá passar por rotação, em áreas afectadas por esta tectónica e para direcções N40-50W.

Estas deformações, as fracturas e respectivos dobramentos associados (flexuras, dobras fechadas, arrastos de bordo de falha), impostos a flanco dos dobramentos maiores da FH1, marcam a 2ª fase Hercínica (FH2).

Os efeitos duma possível 3ª Fase Hercínica não estão provados nesta área ou são pouco evidentes.

Será, no entanto, num tempo cronologicamente associado ao final desta fase (290MA), que deverão ter surgido os granitos discordantes, de grão grosseiro, porfiróides.

Os contactos muitas vezes quase rectilíneos, sugerem um controlo feito por falhas pré-intrusivas.

As fracturas do esquema de Riedel, propostas para FH2, são adequadas a essa interpretação, excepto para o contacto granito/metassedimentos de direcção NW, na região anómala, aonde se localizam os principais jazigos.

Pela observação dos metassedimentos nas zonas de contacto, admite-se que este granito seja corpo eruptivo de assimilação. A ascensão do corpo magmático foi facilitada pela fracturação generalizada e em grande escala da FH2.

Esta terá eventualmente permitido a delimitação por falhas peribatolíticas, dum domo regional sobre a câmara magmática.

A materialização da bordadura NW do contacto, terá sido facilitada pela anisotropia do C.X.G., já estruturado.

Sendo a foliação principal um plano de fraqueza natural, o granito ao ascender provoca o aparecimento de falhamentos inversos, umas vezes coincidentes com a foliação, outras vezes paralelos à sua direcção, mas oblíquos ao seu pendor, de modo que a vergência geral do conjunto fracturado, seja conforme à resultante das forças intrusivas.

Este mecanismo implica a abertura de fracturas de tracção, de pendor horizontalizado, associadas às falhas inversas, que

criam espaços favoráveis nas proximidades do contacto e adequados à deposição de urânio.

Embora o granito não seja afectado pela 2ª Fase Hercínica, ao irromper numa formação já estruturada, vai ser condicionado pela estruturação nela existente e responder de igual modo às solicitações que a tectónica tardi-hercínica vai impôr a essas mesmas estruturas.

Numa fase posterior (pós-tectónica), admite-se a rotação do G_1 regional, para uma posição próxima do N-S.

Com o G_1 nesta posição vão reabrir-se e rejogar as fracturas da FH2, reforçando-se assim, no granito, a reprodução destas estruturas.

Surge então uma fracturação N30E (R'), agora com movimentação esquerda, que nos permite explicar a fase de brechificação, que patenteiam os filões de quartzo, com aquela direcção.

Abrem-se assim nestes filões, espaços favoráveis à deposição do urânio, em direcções privilegiadas do granito.

Surgem ainda outras fracturas, de direcção idêntica às da FH2 e que apresentam nesta fase as seguintes características:

N30W (R'), direitas (bem patentes no campo); N60E (X), esquerdas, N-S (T), evidentes pelo controlo de encravés metassedimentares e contactos nos depósitos.

O esquema prevê também uma direcção de fracturação N60W (P), direita. Na tentativa de caracterizar e justificar as linhas mais marcantes da tectónica, com efeitos mais evidentes na área, considera-se que a última acção importante resultará da rotação do G_1 para uma posição - N30W, Alpina.

Procura-se assim justificar a constituição de "horsts" e "grabens" de direcção N60E (perpendicular ao G_1), que tudo indica afectam a região de Azere (a falha da Nazaré será o acidente mais marcante).

Esta tectónica seria responsável pela morfologia das Serras Centrais da Península, explicaria as fossas que na região de Azere conservam retalhos de depósitos terciários, justificaria

os alinhamentos de encaves metassedimentares e seria a provável interpretação para o desaparecimento gradual da crista quartzítica do Ordovícico, na sua evolução para NW.

Tentou-se com este modelo dar uma explicação coerente às deformações tectónicas mais importantes, que a região estudada evidencia.

A explicação que se procurou, simples, aponta para uma rotação gradual da tensão principal numa posição N30E até N30W, que vai determinar uma sucessão faseada de deformações que na generalidade mimetizam as anteriores, embora com características temporalmente diferentes.

O modelo adequa-se à hierarquização cartográfica da fracturação. No caso de se vir a provar a existência de uma FH3 nesta área, tal como é proposto para a zona de Figueiró dos Vinhos (Gama Pereira, 1989), talvez se possa admitir que o referido contacto se faça à custa de falhas que cortem todas as de 2ª Fase Hercínica e de direcção N55W, esquerdas.

O que nos leva a duvidar desta possibilidade é que as falhas com esta direcção na área, são presumivelmente direitas.

O mesmo parece verificar-se na região de Nisa de acordo com Sanderson (1990) "Landsat lineaments and structure control of mineralization in the Nisa Area", (pág. 10).

Admite-se no entanto que essa movimentação direita seja da responsabilidade duma fase tectónica posterior (pós-Hercínica), mas apesar disso ficam-nos muitas dúvidas quanto à existência de "verdadeiros corredores de deformação esquerda, posteriores às fracturas/falha de FH2" (Fotos 5 - 9).

10.1.2 REGIAO DE NISA

10.1.2.1 Localização e enquadramento geológico

A região designada por Nisa corresponde à área abrangida pelas

folhas dos SCE, na escala 1/25.000 n.ºs. 324 (Nisa) e 325 (Póvoa e Meadas). As formações geológicas aflorantes são, tal como na região de Azere, os granitos hercínicos e as formações fliishoides do Complexo Xisto-Grauváquico intruídas por eles (fig.10.2)

10.1.2.1.1 Complexo Xisto-Grauváquico (CXG) - Ante-Ordovícico

Foi reconhecido ao longo de 42 Km de Contacto, numa auréola de 3,5 a 5 Km em média. Além do metamorfismo regional que o atinge (zona da clorite), o granito imprimiu-lhe um metamorfismo de contacto, originando zonas de corneanas e de xistos mosqueados, numa orla que não ultrapassa em média 1 Km de extensão. A estratificação (So) apresenta uma atitude muito constante, N60-80W; subvertical a vertical encontrando-se a série sistematicamente polarizada para sul. Assim é possível subdividi-lo nas seguintes unidades litoestratigraficas (base - topo).

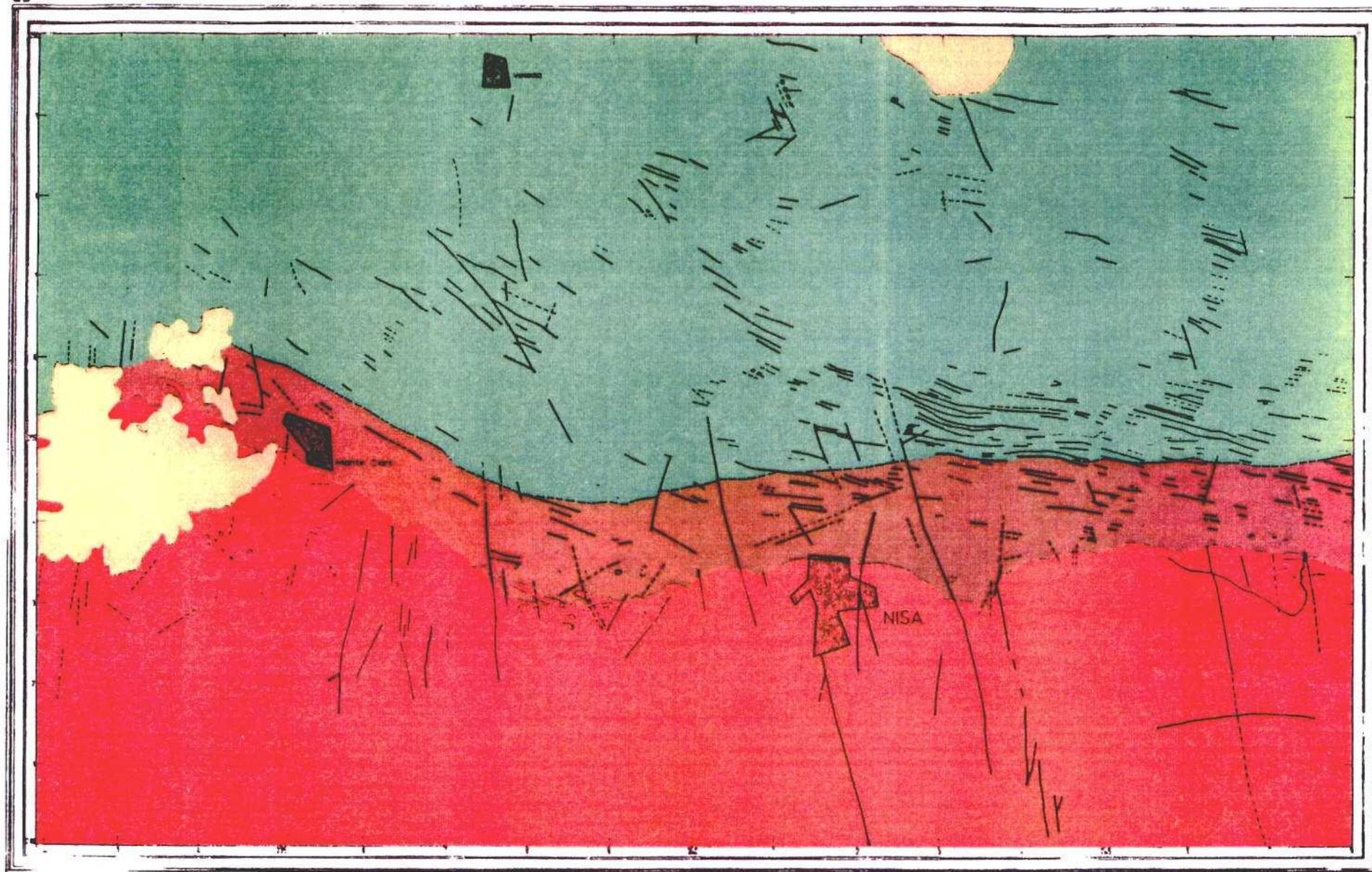
Unidade 1

Esta unidade é caracterizada por sequências positivas constituídas por grauvaques em bancadas métricas a decimétricas, com alternâncias de xistos grauvacoides em bancadas decimétricas a centimétricas e alternâncias centimétricas a milimétricas de xistos grauvacoides e pelitos para o topo de cada sequência. As últimas bancadas possantes de grauvaques, (no topo da unidade) apresentam nódulos de rochas calcosilicatadas. Sendo difícil caracterizar a sua base, podemos no entanto referir que existem microconglomerados em unidades que são inferiores. A sua espessura é da ordem das várias centenas de metros.

Unidade 2

Esta unidade é caracterizada pela presença de bancadas

172



LEGENDA

-  Complexo xisto-grauvêquico/metamorfismo de contacto
-  Granito hercínico
-  Depósito de cobertura
-  Falha

ESCALA GRÁFICA



FIGURA 10.2- ESQUEMA GEOLÓGICO-ESTRUTURAL, ÁREA DE NISA.

centimétricas de rochas calcosilicatadas, xistos e grauvaques grafitosos, sendo os grauvaques em bancadas possantes subordinadas. Predominam as bancadas com finas laminações de xisto/grauvaque. São frequentes laminações milimétricas a centimétricas de xisto/siltito com colorações cinzento esverdeado e negro. A sua espessura é inferior à Unidade 1.

Unidade 3

Esta unidade é caracterizada por apresentar diversas sequências positivas de bancadas métricas de grauvaques cinzento escura com alternâncias de xistos e siltitos escuros - tipo "lousa". Tem cerca de 2 a 3 centenas de metros de possança.

Unidade 4

Esta unidade é caracterizada pela presença de grauvaques e xistos grafitosos com abundantes sulfuretos. É difícil estabelecer o topo da unidade por se encontrar em contacto com o granodiorito da Amieira. É no entanto mais possante que a Unidade 3.

Da cartografia dos níveis microconglomeráticos referidos na Unidade 1, ressaltou a existência de uma discordância angular com os quartzitos Armoricanos do Ordovícico da Serra de S. Pedro, Vila Velha de Rodão.

10.1.2.1.2 Granito Hercínico

O batólito deste ocupa uma área desde Aldeia da Mata/Nisa/C. Vide e Albuquerque (Espanha). Predomina o granito porfiróide grosseiro de duas micas, muito biotítico, e que nas bordaduras Norte (contacto com os metassedimentos do CXG) e Sul (contacto com os granitos, Ante-Hercínicos): desenvolve fácies de granito

fino, por vezes com tendência aplítica com turmalina. No seu interior e desde as Povoações de Gafete, Alpalhão, Beirã, Stº António das Areias, aparece uma diferenciação de granito não porfiróide de grão fino de duas micas, muito biotítico (granito de Alpalhão) e que em Stº António é já de grão médio. Cartograficamente toma uma forma de arco.

Foram cartografados dois tipos de rochas intrusivas filoneanas, no granito.

Porfiro granítico - Rocha alterada com patine verde azeitona e textura porfírica, intruindo ao longo de N15W e N60W, com cerca de 1 m de possança (ex. Morena).

Diabases - Rocha alterada com patine castanho ferruginoso, aspectos de alteração esferoidal. Intrue ao longo de N60W e N15W (ex. Morena, Monte Biscaia, Monte Decalão).

10.1.2.1.3 Depósitos de cobertura

Na zona ocidental da região de Nisa, cartografam-se algumas manchas de depósitos atribuídos ao Mio-Pliocénico, que por vezes recobrem o contacto entre o granito e os metassedimentos. Estes depósitos são constituídos, para a base, por grés arcósicos, onde ocorrem algumas lenticulas argilosas. Estas formações arcósicas são cobertas por cascalheiras grosseiras, polimiticas, onde predominam os calhaus de quartzito, quartzo e lidito, mal calibrados, sub-angulosos, e de cor predominantemente avermelhada.

10.1.2.2 Síntese estrutural

A primeira fase Hercínica originou dobras decamétricas em estilo similar assimétricos com plano axial N50 a 80W, sub-vertical, e eixos com vergência de 15 graus a 40 graus SE ou NW, tendo-se desenvolvido uma clivagem xistosa ou de plano axial com aquela direcção.

Os metassedimentos do CXG estavam já dobrados pelos movimentos Cadomianos, o que possivelmente explicará a existência de dobras de eixo verticalizado.

A segunda fase Hercínica, teria originado dobras flexurais de plano axial N35-60W; subvertical, com vergência dos eixos 75-85 SE ou NW, tendo-se desenvolvido uma clivagem de fractura com aquela direcção muito evidente nas bancadas de Grauvaque. De referir a constância do ângulo ($S_1 \wedge S_2 = 20$) ao longo de toda a zona.

A terceira fase seria responsável por clivagem de crenulação muito persistente em determinados locais (ex: Ribeira de Fratel - N60W; 30N).

Fases mais tardias teriam originado Kinks, observados em diversos locais com direcções N10-15W, N25W; N70E; 80N; EW; 80S, N25E; 35NW.

Os metassedimentos estão sulcados por um cortejo de filões e massas de rochas intrusivas com características intermédias - ácidas (Metaporfiros dacíticos) ou francamente ácidos (Microgranito de Srª da Graça). Estes filões com direcção aproximada N60-70W, cortam nitidamente S_0 .

Alguns poderão ser ante- F_1 , em virtude de a foliação principal que apresentam ser paralela a S_1 definida nos metassedimentos encaixantes.

O metamorfismo de contacto induzido pelo granito de Nisa é pós F_2 e F_3 visto que existem minerais de recristalização tardia nas rochas calcosilicadas por S_2 (rosetas de actinolite), bem como apatite nos filões de metaporfiros dacíticos, pós S_2/S_3 . No campo evidenciou-se um local onde os filões estão a ser assimilados pelo granito.

O granito é posterior à 3ª fase Hercínica, não apresentando a sua bordadura sinais evidentes de tectonização, contudo ele está muito fracturado.

Esta fracturação teria começado logo após o início do arrefecimento do batólito com a formação de fracturas ainda

condicionadas pelo campo de tensões NE/SW, pois que os aplitos e pegmatitos têm preferência pelas direcções N20W a N30E e N70E a N70W, o mesmo sucedendo às mineralizações de volframite e fluorapatite. Movimentos posteriores com forte factor cizalhante actuando com direcção N/S, teriam obrigado estas fracturas a jogar, bem como originado outras novas, estas N30 a 50W e N30 a 70E. Seria nesta fase que se teriam movimentado os filões com fluorapatite e alguns com volframite e iniciado o seu enchimento quartzoso o qual se iria prolongar até / ou durante, os movimentos alpinos com o mesmo campo de tensões. Só assim explicamos a existência lado a lado de fracturas com igual direcção e paragenese diferente.

10.2 MINERALIZAÇÕES URANÍFERAS

10.2.1 Tipologia dos jazigos portugueses

Os jazigos portugueses de urânio podem ser classificados de acordo com as seguintes tipologias:

- a) Filões polimetálicos em estruturas jaspoides abertas, com pechblenda.
- b) Filonetes de fluorite com pechblenda em episienitos.
- c) Mineralizações hexavalentes de urânio em filões de quartzo, brechas tectónicas e diques básicos.
- d) Depósitos do tipo ibérico.

Estes jazigos subordinam-se a uma diversidade de metalotectos presumivelmente correlacionáveis com géneses e tempos geológicos de deposição diferenciados.

Admite-se uma origem hidrotermal para os jazigos dos tipos jaspe e episieniticos, depositados a temperaturas relativamente elevadas e origem supergénica para os jazigos hexavalentes

depositados nos diques básicos.

A disponibilidade de uma fonte de urânio localizada nos granitos hercínicos, uma elevada densidade de fracturação de adequada permeabilidade e alguns eventos geológicos, como o magmatismo básico pós-hercínico, permitem considerar um elevado número de mecanismos alternativos e temporalmente diversificados para a génese dos jazigos uraníferos portugueses.

10.2.2 Suporte geológico das mineralizações

Todos os jazigos filoneanos ocorrem em relação com os membros mais jovens dos granitos hercínicos intruídos no Complexo Xisto Grauváquico ante-Ordovícico.

Numerosos pegmatitos, aplitos e xenólitos nos metassedimentos e a presença de enriquecimentos em Li e Bo sugere uma localização dos jazigos em nível estruturalmente alto. Diques básicos (doleritos olivínicos e lamprófiros) intruíram no intervalo de 235-250 M.A. (Portugal Ferreira e Regêncio Macedo 1979). A distribuição e características gerais destas mineralizações foram descritas detalhadamente por Cameron (1982) e Bashman e Matos Dias (1986).

10.2.3 Depósitos do tipo ibérico

Os numerosos jazigos uraníferos ocorrentes no Complexo Xisto Grauváquico da península Ibérica, possuem uma importância económica considerável e um elevado interesse metalogénico.

A origem destas mineralizações têm sido atribuídas (Arribas 1986) a processos:

- magmáticos, por transporte do urânio em fluidos hidrotermais
- supergénicos, por libertação do urânio dos granitos hercínicos durante os processos de meteorização e alteração

- segregação, por libertação do urânio das rochas plutónicas em consequência de movimentos tectónicos tardihercínicos e/ou alpinos
- de difusão, por redistribuição do urânio dos metassedimentos férteis, através de difusão térmica ou fluxo hidrotermal

10.3 METODOLOGIAS E TÉCNICAS DE PROSPECÇÃO

10.3.1 Prospecção aérea

Realizou-se o levantamento de alta sensibilidade aeromagnético e espectrométrico de 256 canais nas regiões de Azere e Nisa. As direcções das linhas de vôo efectuadas foram N/S O-180, com espaçamentos de 500 metros e as das transversas E/W 90-270, com espaçamentos de 5 Km. A altitude de voo acima do terreno foi de 120 metros tendo-se utilizado um avião CESSNA 404 Titan, especialmente modificado para o efeito. As medidas foram registadas continuamente em banda magnética à razão de 1 segundo (Foto 10).

10.3.1.1 Radiométrica

O equipamento utilizado nesta metodologia consistiu num espectómetro de raios gama geometrics GR 800 D, de 2 detectores 32L, integrados num DET 1024 de 256 canais. As janelas escolhidas foram as seguintes:

Contagens totais	0.420 - 3.000	mev
Potássio	1.375 - 1.574	mev
Urânio	1.668 - 1.870	mev
Tório	2.414 - 2.816	mev

Realizou-se uma verificação diária das janelas espectrais utilizando fontes radioactivas de urânio e tório. A resolução foi verificada com uma fonte de Ce-137 e a estabilidade do sistema através do método de obtenção do espectro de tório (Fig.10.3)

10.3.1.2 Magnetométrica

Para esta metodologia o equipamento aerotransportado utilizado foi o magnetómetro CENG MRM 360 Overhavser de reboque ("pássaro"), suspenso em cabo de 50 m. Como equipamento de apoio terrestre utilizaram-se o magnetómetro de vapor de rubídio H 102 e um magnetómetro G 856 AX.

Efectuaram-se testes de direccionalidade e atraso de magnetómetro, para determinação dos factores correctivos adequados.

Para controlo de fundos terrestres e cósmicos sobrevoaram-se linhas e locais de testes (Fig.10.4/5).

10.3.2 Prospecção apeeda

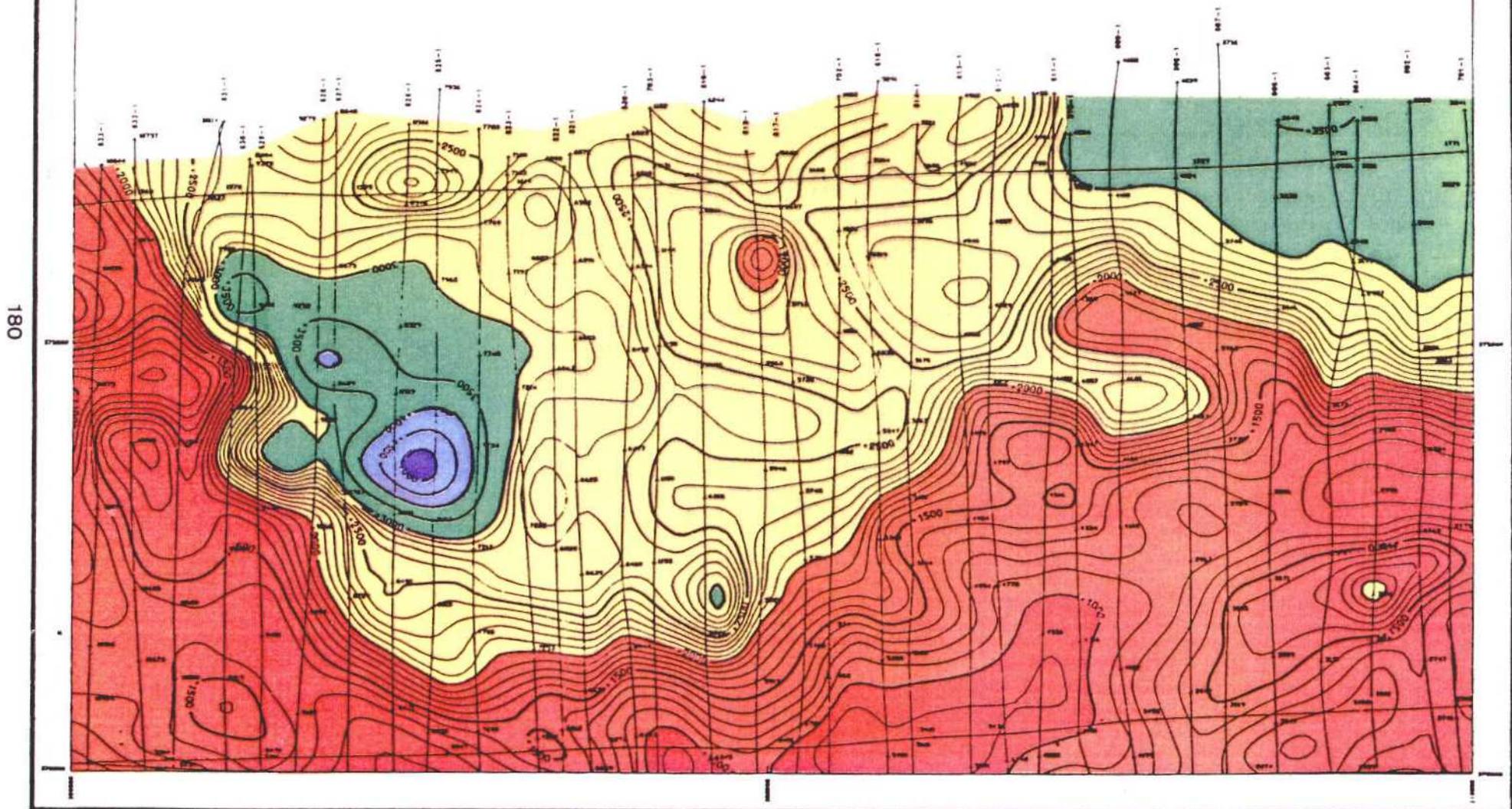
10.3.2.1 Radiométrica

Efectuou-se a cobertura radiométrica geral das regiões de Ázere e Nisa através de percursos e perfis radiométricos ao SPP2, normais ao contacto granito/metassedimentos, com o objectivo de delimitação de zonas anómalas. Nestas zonas foram efectuados posteriormente diversos planos de contagem cintilométrica detalhada, com malhas quadradas de 2 m, conducentes à obtenção duma imagem radiométrica de superfície tão fiável quanto possível daquelas duas regiões (Fig. 10. 6/7).

10.3.2.2 Emanométrica

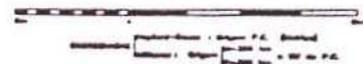
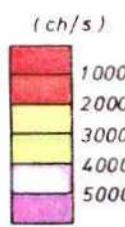
Em virtude de nalgumas zonas os granitos, os metassedimentos

FIGURA 10.3- AERORADIOMETRIA, ZONA DE AZERE.



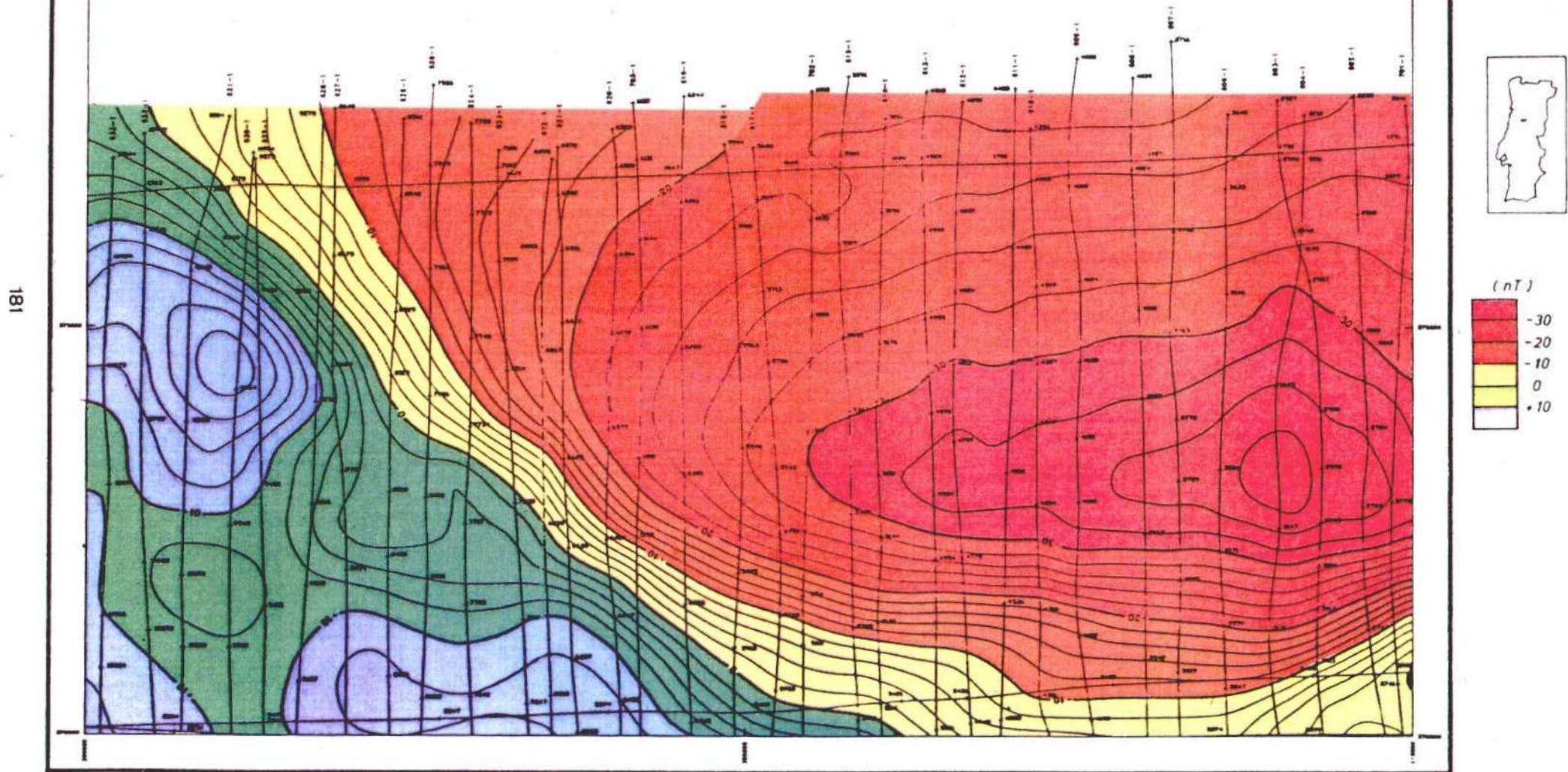
180

220	221
231	232
242	243

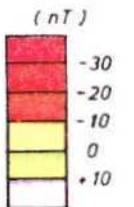
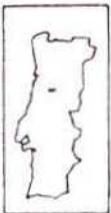


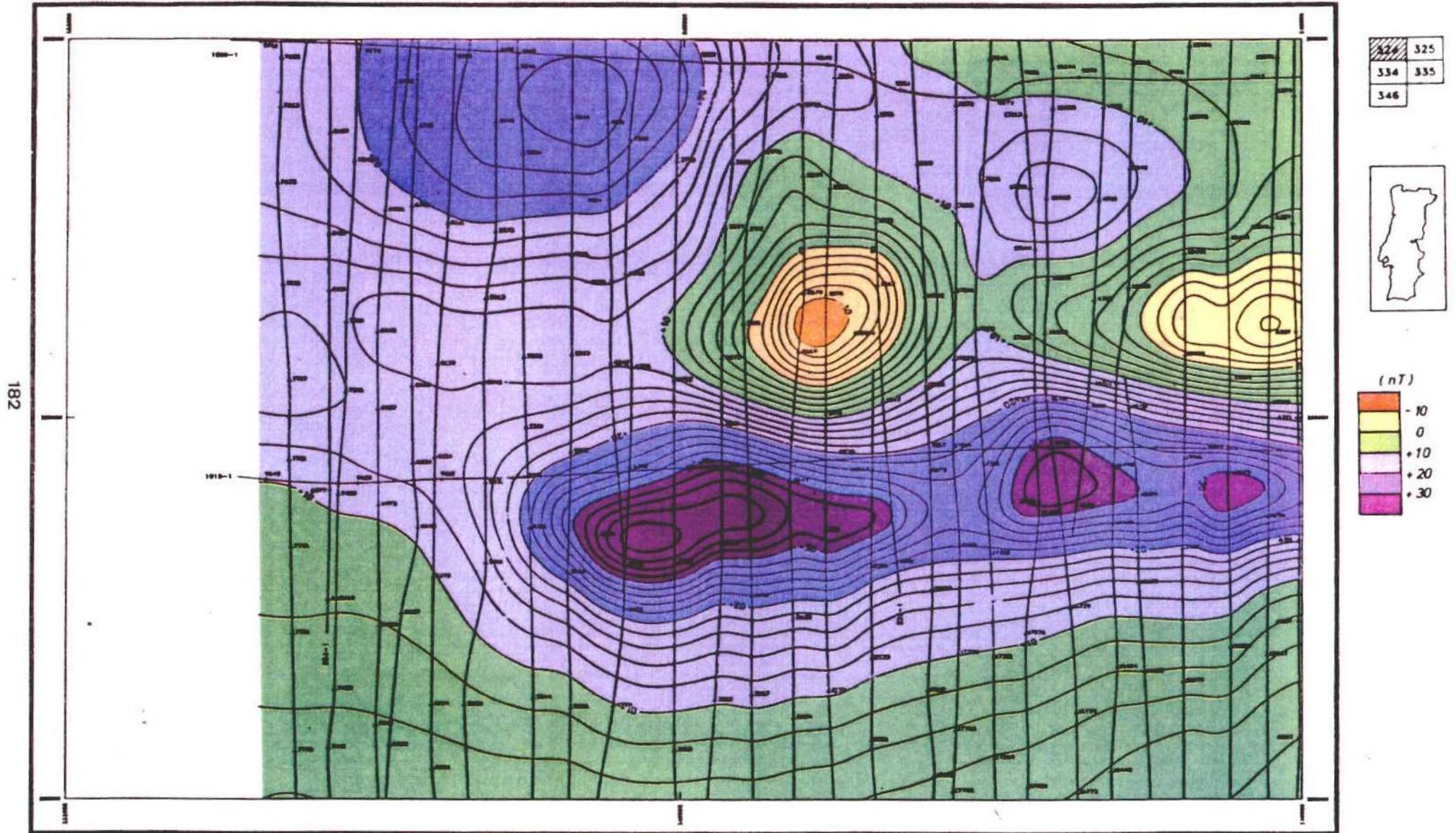
Elaboración geológica y cartográfica:
 Escala horizontal: 1:100.000
 Escala vertical: 1:100.000
 Fecha de elaboración: 1980

FIGURA 10.4- AEROMAGNETOMETRIA. ZONA DE AZERE.



220	235
231	232
242	243





182

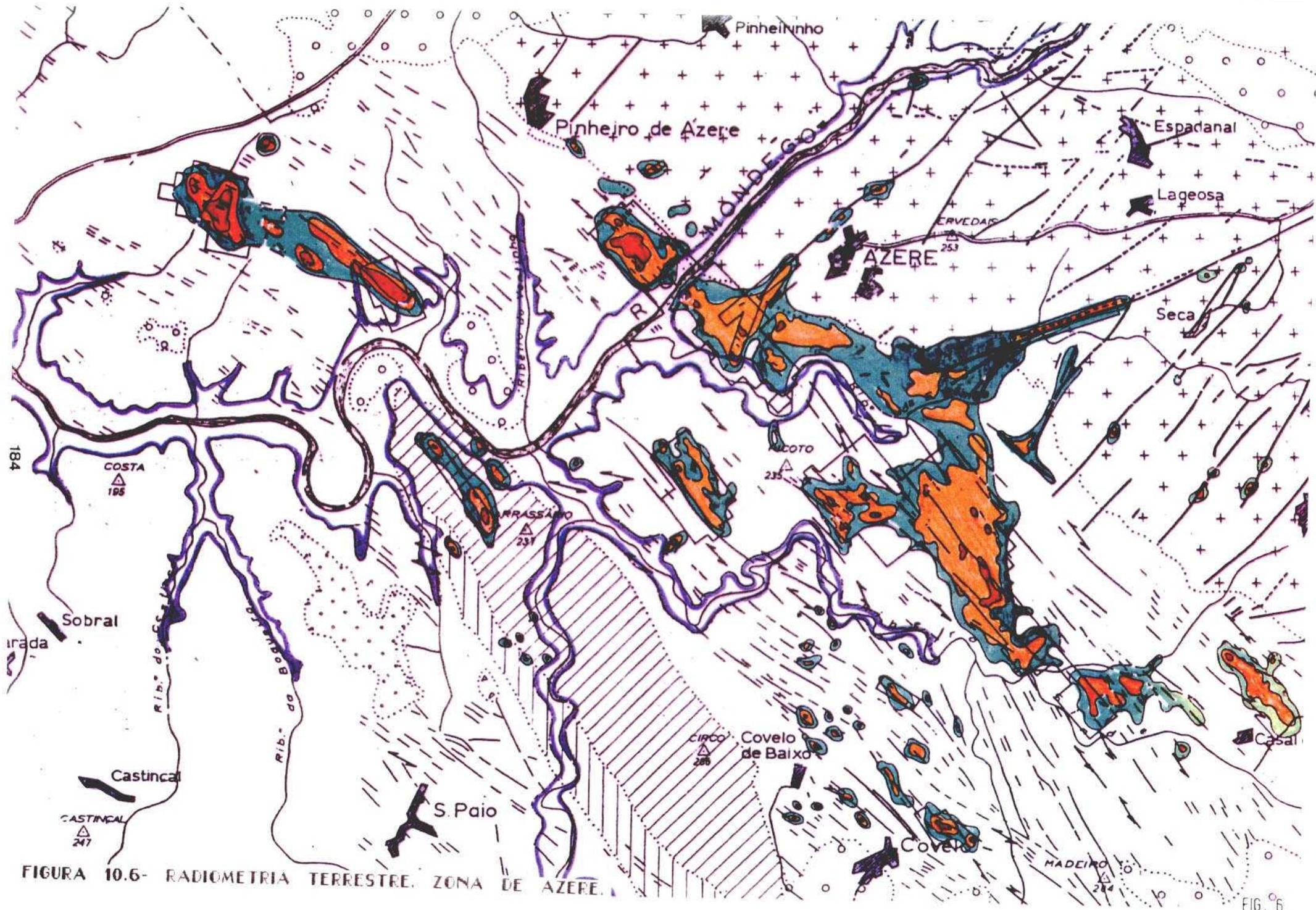


FIGURA 10.6- RADIOMETRIA TERRESTRE. ZONA DE AZERE.

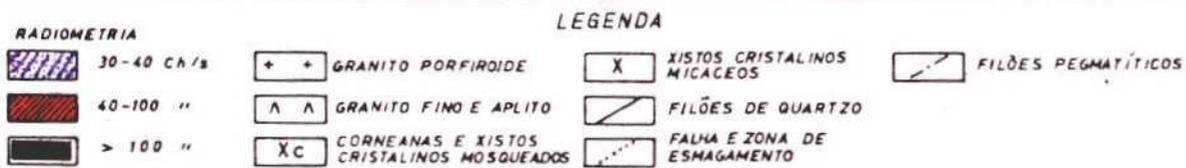
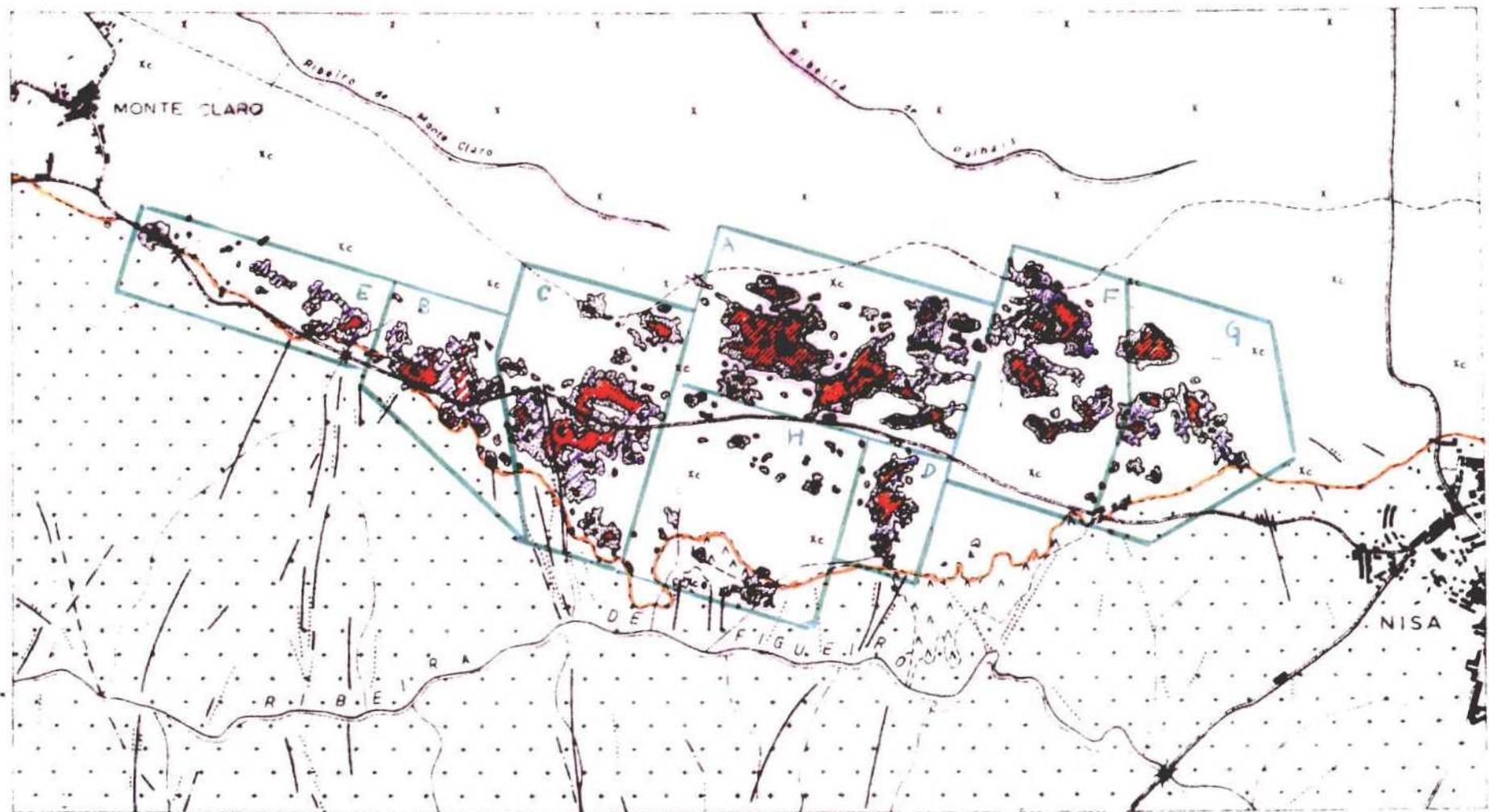


FIGURA 10.7- RADIOMETRIA TERRESTRE. ZONA DE NISA.

e também este contacto se encontrar coberto por depósitos gresosos continentais que poderão constituir um ecran à passagem de radiações gama, efectuaram-se nessas zonas planos de contagem emanométrica.

Esta prospecção teve como objectivo a detecção de eventuais ocorrências uraníferas não aflorantes.

Foram utilizados os equipamentos RD-200 e alpha-card.

10.3.2.3 Geoquímica de rochas

10.3.2.3.1 Perfis geoquímicos

Com o objectivo de avaliar a distribuição espacial de diferentes elementos, relativamente às unidades litostratigráficas definidas no CXG, ao granito e ao contacto entre estas formações, foram executados perfis de amostragem orientados paralelamente à estratificação verificada no CXG e perpendicular ao contacto granito/CXG.

No granito a amostragem foi feita, tendencialmente, com malha regular.

Os pontos de amostragem foram localizados, função das cartas geológico-estruturais, em locais sem vestígios de fracturação macroscópica e/ou alteração superficial.

10.3.2.3.2 Geoquímica das zonas mineralizadas

Com o objectivo de verificar a correlação entre o enriquecimento do urânio e a variabilidade na concentração de outros elementos, foi efectuada a amostragem de zonas enriquecidas em urânio. Essa amostragem foi efectuada quer em sub-superfície quer através da recolha de testemunhos de sondagens.

10.4 RESULTADOS OBTIDOS

Todo o trabalhos de prospecção desenvolvido nas regiões de

Ázere e Nisa assentou numa infra-estrutura geológica adquirida através de estudos fotogeológicos, detecção remota e cartografia geológica de campo nas escalas 1/25.000 e 1/5.000.

Os resultados deste conjunto de trabalhos revelaram-se coerentes e foram incorporados no item 1 do presente capítulo.

10.4.1 Prospecção radiométrica

Existe total coincidência entre as anomalias detectadas em prospecção aérea e as referenciadas em prospecção a pé. As manchas radioactivas mais importantes localizam-se nas zonas de contacto entre os metassedimentos e o granito.

Quer na região de Ázere, quer na região de Nisa os valores radioactivos mais elevados localizam-se onde se verifica paralelismo entre a direcção do contacto e a foliação principal dos metassedimentos. A partir do momento em que o contacto começa a obliquar relativamente a esta, a densidade das anomalias é menor e os seus valores unitários bastante mais baixos.

A morfologia das manchas radioactivas apresenta características diferenciadas no granito e nos metassedimentos. No granito apresenta um desenvolvimento claramente condicionado pela tipologia filoneana, enquanto nos metassedimentos as manchas radioactivas quando observadas numa escala regional, exibem um falso aspecto de disseminação, embora uma observação detalhada evidencie igualmente um marcante controlo tectónico.

10.4.2 Emanometria

As anomalias emanométricas obtidas em planos realizados em áreas cobertas por depósitos terciários revelam alinhamentos coincidentes com a orientação da fracturação nos metassedimentos. As mesmas áreas não apresentam, no entanto, quaisquer anomalias radiométricas.

10.4.3 Prospecção aeromagnética

Para apoio da interpretação estrutural nas regiões de Ázere e Nisa efectuou-se o levantamento aeromagnético naquelas áreas. Verifica-se que os valores, tendencialmente negativos no granito, aumentam progressivamente para o contacto com os metassedimentos atingindo as maiores amplitudes na orla de metamorfismo de contacto onde ocorrem corneanas ricas em pirite, marcasite, óxidos e hidróxidos de ferro. As perturbações verificadas no interior dos metassedimentos poderão eventualmente ser atribuídas à presença de massas e/ou apófises graníticas ocorrentes em profundidade.

10.4.4 Prospecção geoquímica

O resultado das 50 amostras efectuadas ao longo de perfis nas regiões de Ázere e Nisa mostraram que o conteúdo em urânio nos metassedimentos varia de 1 a 13 ppm e não foi encontrado nenhum enriquecimento singenético nas diversas unidades litológicas previamente definidas nem correlações significativas do U com outros elementos.

As análises estatísticas de 46 amostras colhidas em zonas mineralizadas para U total, U lixiviável, Th total, Th lixiviável, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Ni, Ti e Zn demonstraram:

- fortes correlações positivas (> 0.9) entre $U_{tot.}/U_{lix.}$ e entre $U_{tot.}/Th_{tot.}$
- correlações significativas entre $U_{tot.}/Cu$ (0.43)

Os resultados geoquímicos encontrados não forneceram indicações suficientes que justifiquem a utilização sistemática desta metodologia.

10.5 CONCLUSOES

- 1 Os jazigos uraníferos portugueses do tipo ibérico apresentam uma distribuição espacial directamente correlacionável com os granitos hercínicos férteis.
- 2 Os granitos férteis são caracterizados por serem de idade hercínica e postectónicos. Ocupam uma posição estruturalmente alta e apresentam um elevado conteúdo em U_{total} .
Desse urânio cerca de 50% apresenta-se mineralogicamente na forma de uraninite, que ocorre nos grãos de feldspato, moscovite e biotite. Ocorre também elevada percentagem de uraninite intragranular.
- 3 O tectonismo desempenha o papel mais importante na concentração metalogénica do urânio. Essa importância manifesta-se segundo três vertentes distintas:
 - a) Facilita os movimentos dos fluidos no sentido granitometassedimentos
 - b) permite a aquisição de propriedades percolantes nos metassedimentos
 - c) permite a formação de armadilhas tectónicas.
- 4 Subsidiariamente a variabilidade litológica desempenha também um papel importante.
As suas mineralogias específicas e estruturas internas operam modificações químicas nos fluidos uraníferos.
- 5 Os locais estruturais de deposição foram reactivados periodicamente através dos tempos geológicos, conduzindo a modificações nos regimes dinâmicos e químicos que podem produzir adições ou perdas de soluções uraníferas. Consequentemente, os corpos mineralizados com interesse

económico são aqueles que foram preservados dos efeitos negativos dessas modificações.

- 6 A integração de diversas técnicas de prospecção conduziu a um significativo incremento do nível de conhecimento geológico das áreas aumentando, conseqüentemente, a probabilidade de descoberta de novos jazigos uraníferos. Permitiu, concretamente, quer na região de Azere, quer na de Nisa definir a importância metalogénica do paralelismo do granito com a foliação principal dos metassedimentos.

Na região de Azere, evidenciou a importância da constituição de horsts e grabens de direcção N60E. Essa estruturação possibilitou a delimitação, em larga escala, de zonas potencialmente productivas e de zonas provavelmente estéreis. A análise da fracturação N40-45W e NS permitiu, igualmente, a definição de sub-blocos nas áreas potencialmente produtivas de maior favorabilidade uranífera.

Na região de Nisa o estudo dos lineamentos obtidos através do LANDSAT definiu um bloco delimitado por 2 zonas estruturais de orientação NW-SE, com elevada favorabilidade uranífera.

- 7 As similitudes geológicas e do estilo de lineamentos das regiões de Nisa e de La Codosera poderão justificar trabalhos complementares de prospecção de ouro na área de Nisa. É, no entanto, de considerar, que não foram encontradas correlações significativas do urânio com outros elementos. A grande mobilidade do urânio e conseqüente apetência a sucessivas remobilizações, impõem especificidades às concentrações uraníferas.

REFERÊNCIAS

- BASHAM, I.R., MATOS DIAS, J.M.; (1986) - Uranium Veins in Portugal, in Vein Type Uranium Deposits, IAEA Vienna, 183-193
- CAMERON, J.; (1982) - Mineralogical aspects and origin of the uranium in the Vein Deposits of Portugal, in: Vein-type and Similar Uranium Deposits in Rocks Younger than Proterozoic, IAEA Vienna 323-347
- CONDE, L.E. NABAIS; (1971) - Existência em Portugal de uma Série Superior à "Formação Xistosa da Beira" e interior ao Ordovícico. Studia Geológica, II, 25-26
- FERREIRA, M. PORTUGAL e REGÊNCIO MACEDO, C.A.; (1979) Actividade magmática durante o Mesozóico: I - Achega para a datação K/Ar das rochas filonianas básicas intrusivas na zona Centro-Ibérica (Portugal). Museu e Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra 87, 29-49
- OEN ING SOEN; (1970) - Granite intrusion folding and metamorphism in central - northern Portugal. Bol. Geol. Y Min., 81, 271298
- PEREIRA, L.C.G. & REGÊNCIA MACEDO, C.A.; (1983) - Sobre a idade dos granitos de Figueiró dos Vinhos, Pedrogão Grande e dum pegmatito do Casal do Zote (Dornes) no Sector da Sutura da Zona Ossa-Morena - Zona Centro-Ibérica, a norte de Tomar (Portugal Central); algumas implicações geotectónicas. Com. Serv. Geol. Portugal, 69,(2), 265-266.

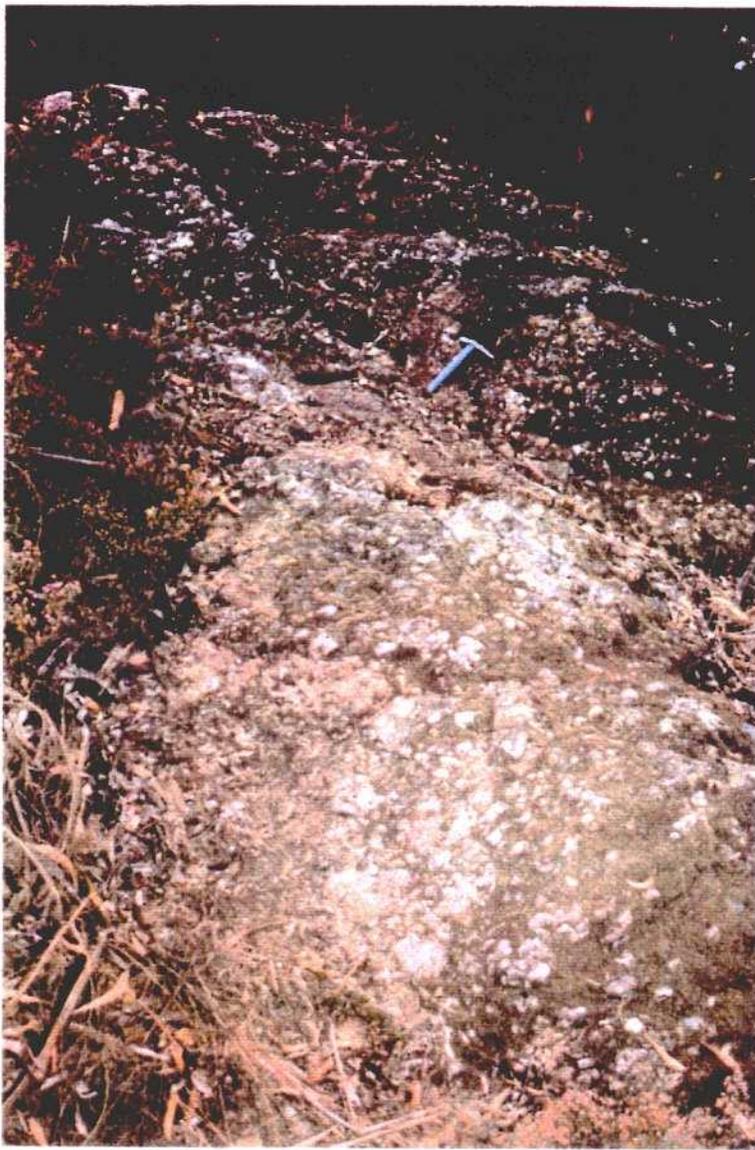


Foto 1 - Conglomerado de base
(Skidaviano)

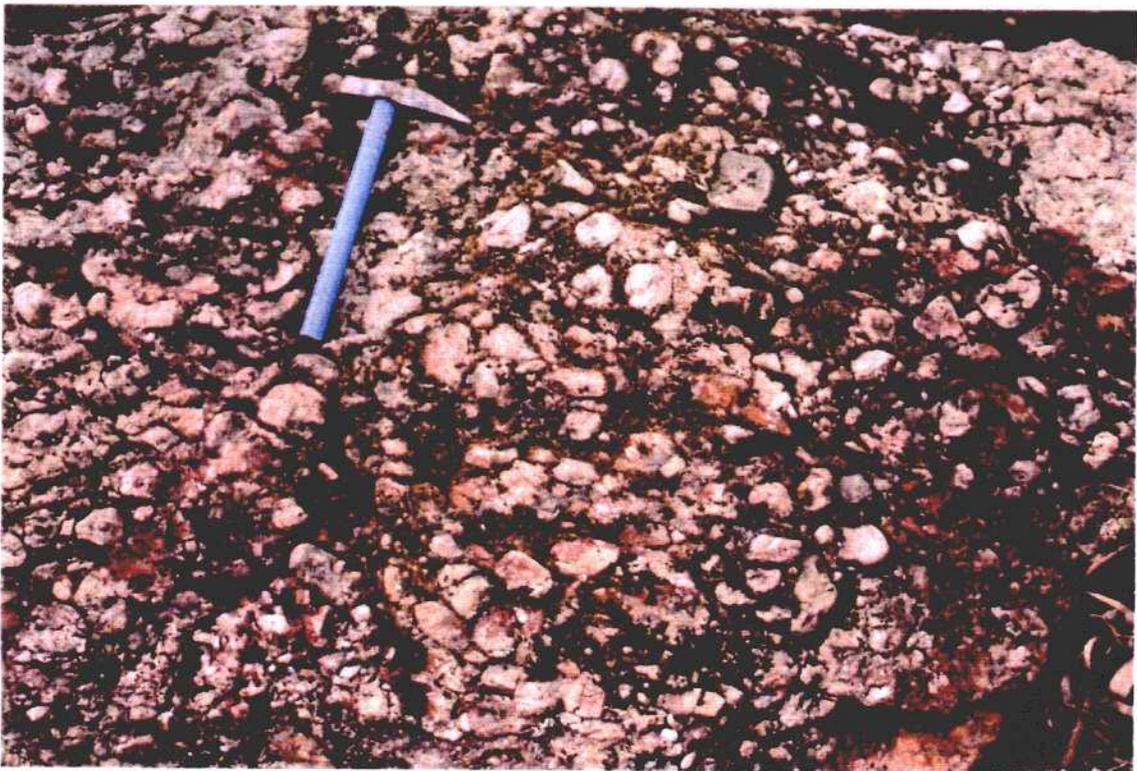


Foto 2 - Conglomerado de base (Skidaviano)
Pormenor

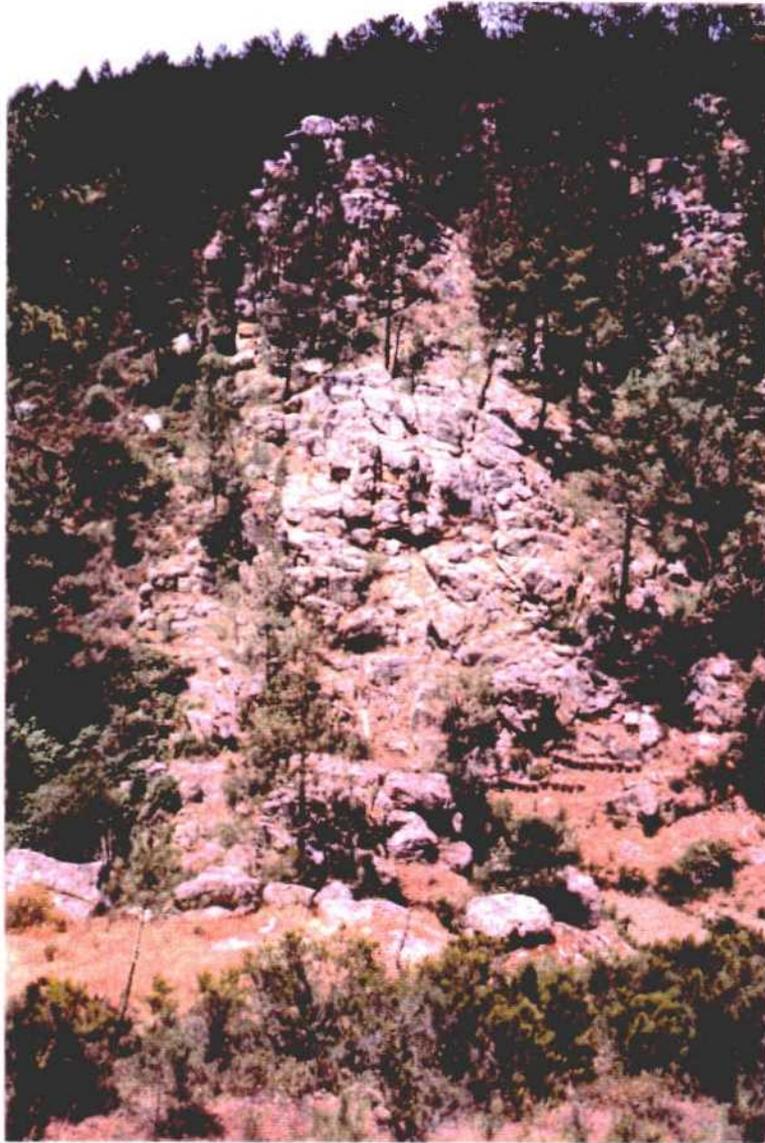


Foto 3 - Crista de quartzito Ordovicico (skidaviano).

P.A. N32W, 84NE

Eixo N32W, 4SE

Clivagens de fractura N64E, vertical e N32E, vertical

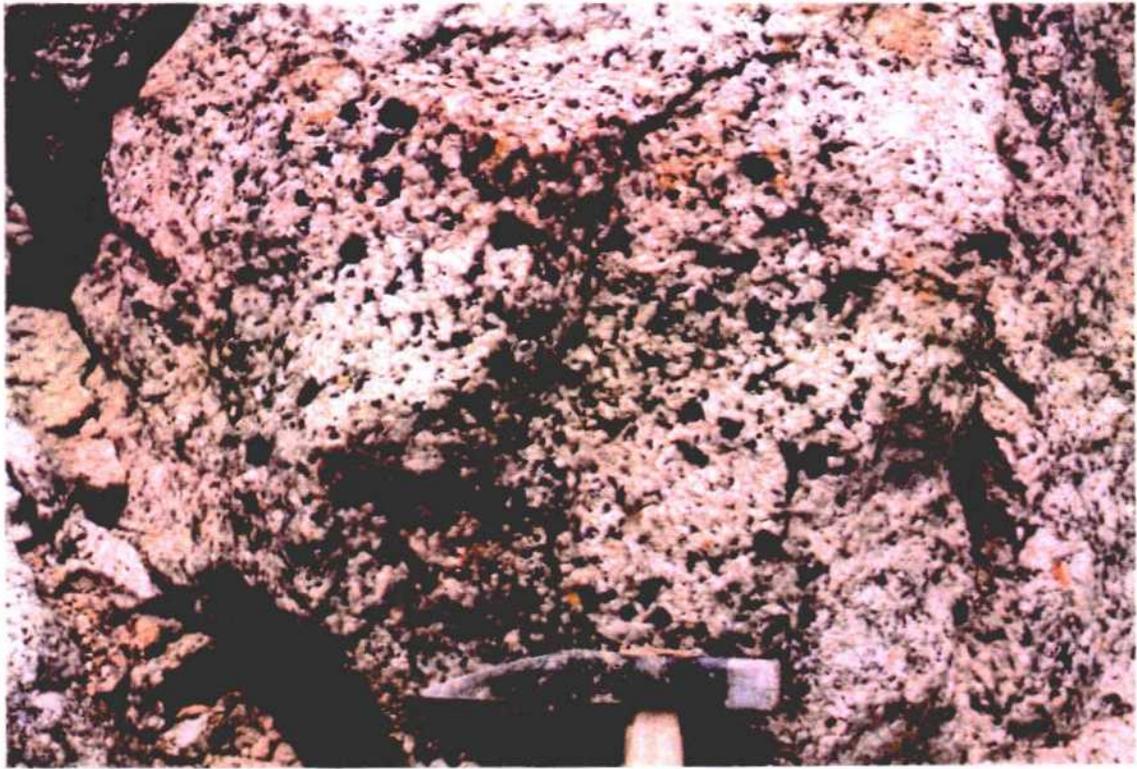


Foto 4 - Granito regional, profiróide, com cordierite

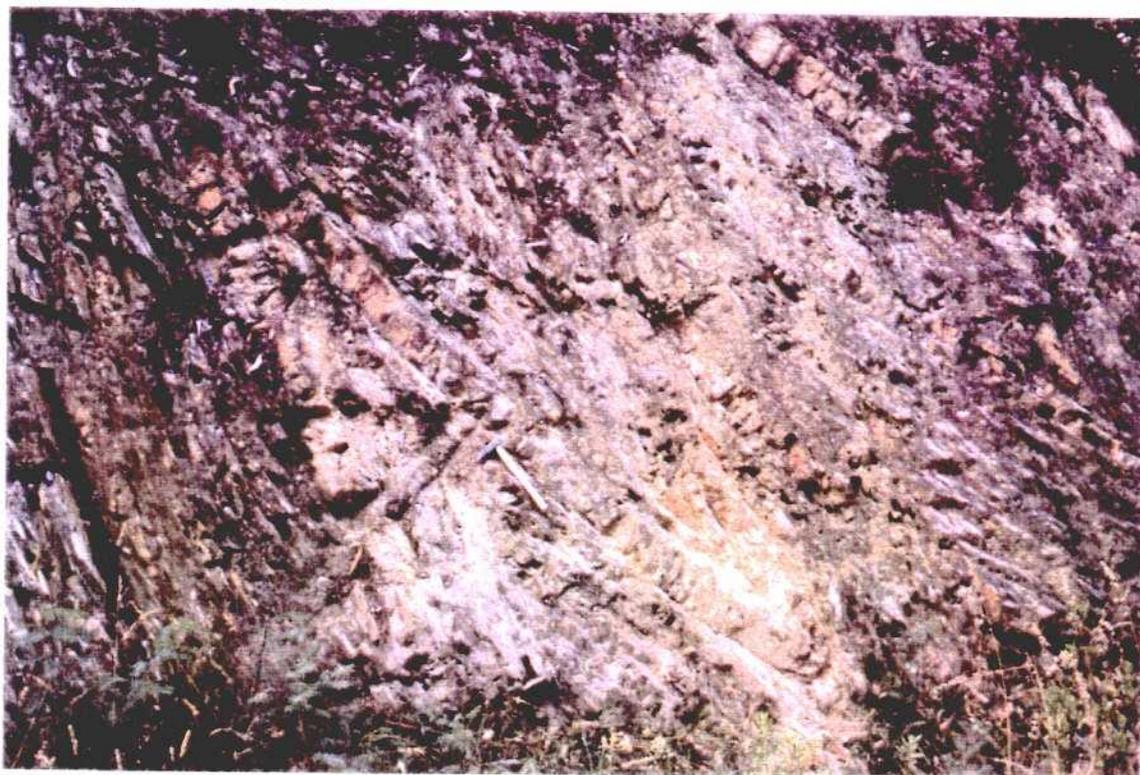


Foto 5 - CXG. Dobramento
P.A. - N68W, 76NE
Eixo - N62W, 22NW



Foto 6 - CXG. Dobramento
P.A. - N80W, 50NE
Eixo - N68W, 15NW

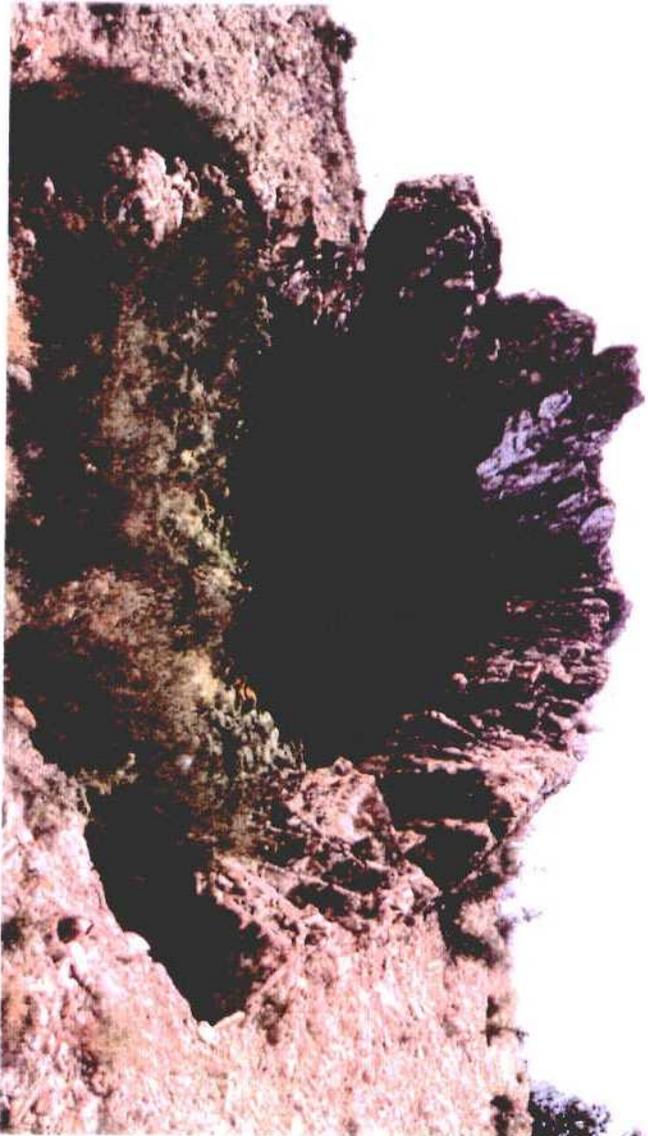


Foto 7 - CXG. Dobramento
P. A. - N47W, 64NE
Eixo - N29W, 32NW

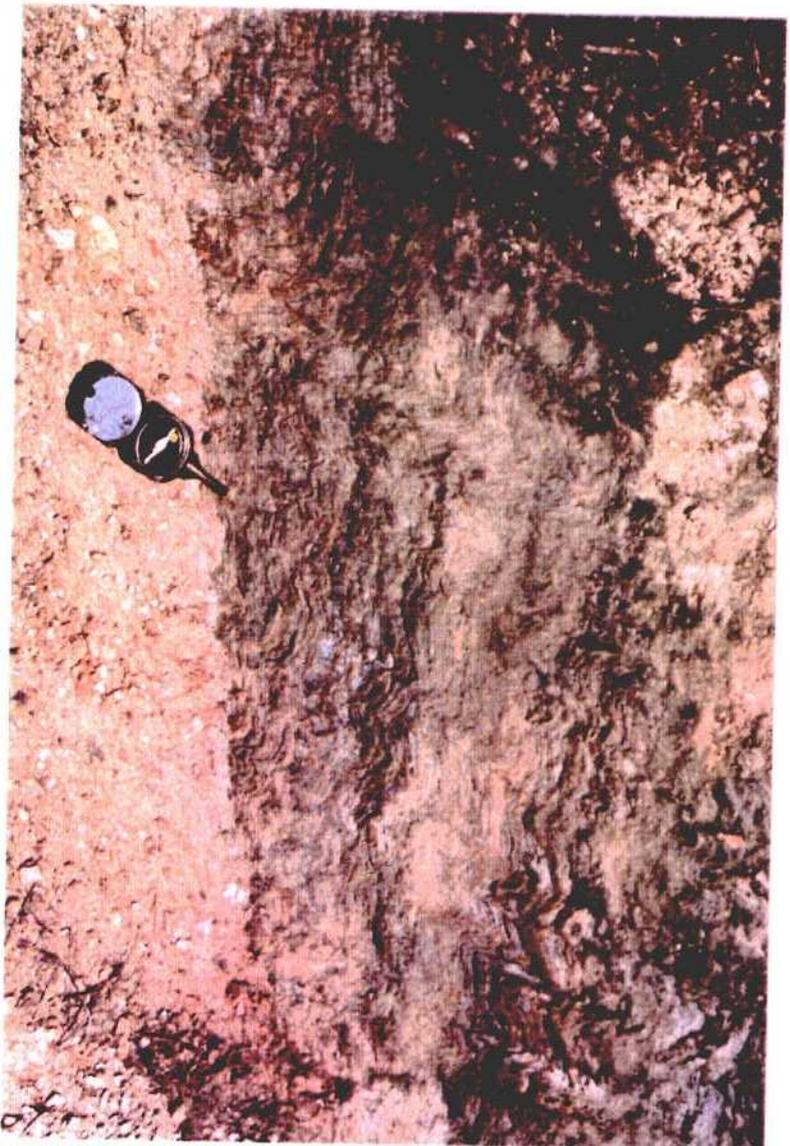


Foto 8 - CXG. Kinks da Tectónica tardihercínica

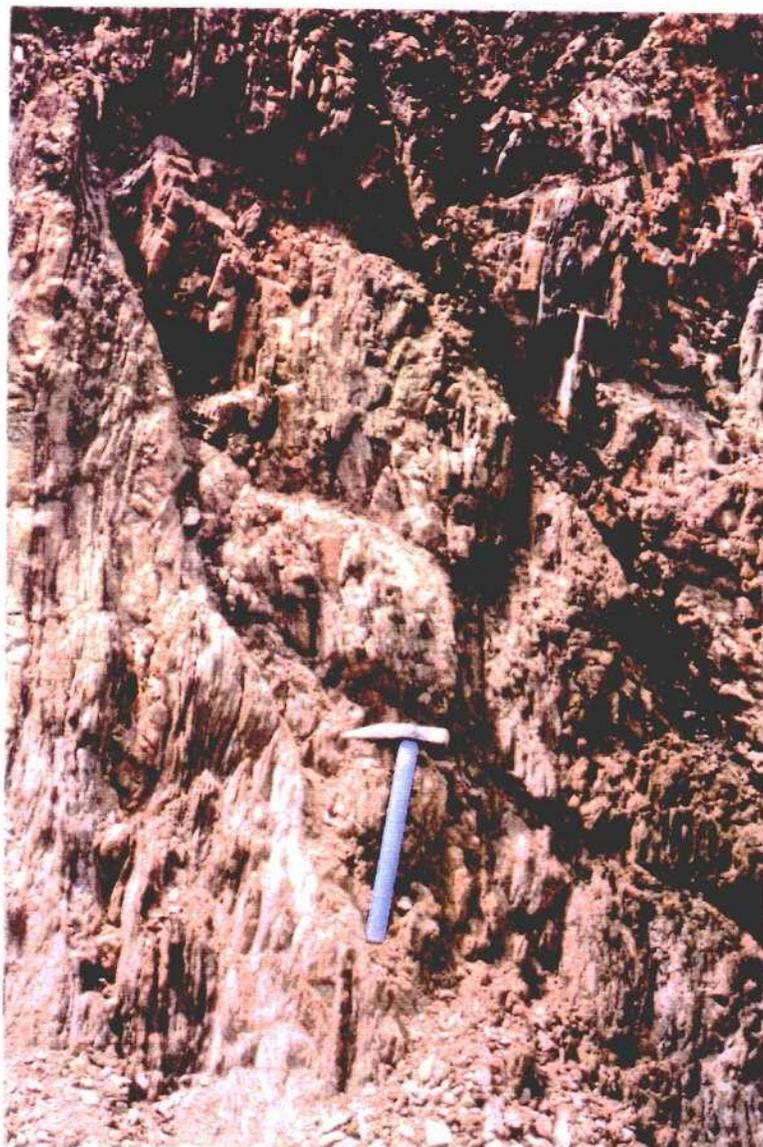


Foto 9 - CXG. Falha inversa N60W, 40/50N.

Estrutura mineralizada



Foto 10 - Avião CESSNA 404, com magnetómetro de reboque C.E.N.G. MRM 360
e UNIDADE GEOMETRICS GR 800 D

CAPITULO - 11 - LANDSAT LINEAMENTS AND STRUCTURAL CONTROL OF MINERALIZATION IN THE NISA AREA

David J Sanderson & Cathy Chinn (University of Southampton)

11.1 - INTRODUCTION

In this chapter we discuss the analysis and interpretation of Landsat satellite imagery of the Nisa area. Comparison will be made with similar work in the adjacent area around La Codosera, Spain. More extensive discussion of the methods used can be found in volume 1 of this report (Gumiel, 1990).

Satellite remote sensing systems, such as Landsat and Spot have provided much useful data for the mapping of tectonic structures and application to mineral exploration. The advent of multi-spectral scanners and radar systems producing digital imagery has led to an explosion of new methods of analysis. Two main features of remote sensing systems have become widely used in geological exploration:

1) multispectral measurement of surface reflectance (see Gumiel, Chapter 8),

2) spatial reflectance changes produced by sub-surface structure.

In mineral exploration, the multispectral approach involves the detection of an anomalous spectral response from surface rock, soil or vegetation which can be related to an orebody. Thus it is limited to the detection of near-surface targets and has proved most successful in areas with little or no vegetation or where orebodies produce significant 'alteration' zones.

The mapping of structures and lineaments is essentially an extension of photogeological interpretation, where surface features are related to subsurface discontinuities, whose detection requires enhancement of gradients and discontinuities in surface reflectance. Traditionally photolineament detection has utilized stereo-images derived from overlapping photographs, but Landsat and most other remote sensing systems (with the exception of Spot) produce limited overlap of imagery. The multispectral nature of much remotely sensed imagery and its digital form allow computer enhancement, combination and filtering of the data offering new and challenging opportunities to those engaged in geological exploration.

In many areas, particularly where superficial cover limits spectral resolution of bedrock, lineaments form the most coherent data derivable by remote sensing methods. The main purpose of this chapter is to discuss a structural

approach to lineament analysis and to demonstrate some applications of its use in the Nisa area.

11.2 - PRODUCTION OF LINEAMENT MAPS FROM LANDSAT TM IMAGERY

11.2.1 - Imagery

Landsat TM imagery was selected for use in this study, because of its moderate spatial resolution (30m) and geologically useful spectral characteristics. The Nisa area is contained within a single quadrant of Landsat TM data (path 203, row 33, quadrant 1). A cloud-free winter image acquired on the 26th January 1986 was selected for study, the low sun angle at this time of year being useful in enhancing topographically controlled lineaments. CCTs of all seven bands of TM data for this quadrant were obtained, together with quadrant 2 of the same image which covers the La Codosera area in Spain. Thus both images could be easily compared and processes using similar parameters. In addition some False Colour Composite prints of SPOT imagery were examined, but no digital processing of these data was attempted.

11.2.2 - Image processing

The digital imagery was processed on GEMS image processing systems at the Ordnance Survey Remote Sensing Centre in Belfast and the National Remote Sensing Centre, Farnborough. Later work was carried out using Erdas software on a SUN/4 computer in Southampton University.

The digital data were subject to various enhancement techniques, principally using bands 3, 4, 5 & 7. These were subject to various forms of contrast stretching and band combination, principal components, ratioing and spatial filtering. The resulting images were used to map major lineaments; interpretations of individual image extracts being combined using a band 7 base at a scale of 1:50,000.

Spatial filtering was used to transform images and enhance directional features. Directional or gradient filters are easily applied to digital images by convolution using a $n \times n$ operator, such as the Roberts or Sobel operators. In their simplest form these operators can be used to detect gradients in an E-W, N-S, NE-SW or NW-SE direction, but larger operators are easily rotated to other directions if required. The choice of filter size (n) can be adjusted to sample gradients of various wavelength. Application of a single operator gives a measure of the gradient in one direction; use of two orthogonal filters can be used to estimate the magnitude (and direction) of the gradient.

11.2.3 - Lineament interpretation.

The drawing of lineaments on images is a traditional

skill of the photogeologist, but is inevitably subjective. Various attempts have been made to utilize the digital nature of satellite images in the automatic detection of such linear features. Most geological lineaments are produced by very subtle gradients and changes in texture, whose response to digital processing is complex (see Gumiel, 1990, chapter 10, for a brief discussion). Larger geological faults are often more obvious as lineaments across which higher-frequency variations, produced by smaller fractures, bedding etc. and even changes in field pattern and landuse), are discontinuous.

In this study all lineaments were interpreted by geologists, based on the visual inspection of a variety of digitally processed imagery. The separation of structural features from other geological and cultural lineaments is probably best tackled by the analyst on a subjective basis during image interpretation.

Lineament maps were digitized on a TDS digitizing table linked to an IBM PS/2, using software developed by Sanderson at Queen's University, Belfast and the University of Southampton. The data are stored on disk ready for input into plotting and processing programs. In this study all data were transformed into UTM coordinates by matching control points on the imagery and maps.

11.3 - STRUCTURALLY CONTROLLED PROCESSING OF LINEAMENTS IN THE NISA AREA.

Lineament data have scalar (length), directional and spatial information, and these features require different, but interdependent, forms of analysis. Structurally Controlled Processing was developed by Sanderson & Dolan (1986) as part of earlier EEC funded research into the use of remote sensing in the raw materials programme. Basically it consists of a package of computer programmes, which have been re-written for IBM PS/2 microcomputers as part of this project, to facilitate the manipulation and display of the directional and spatial attributes of lineament data. These allow plotting, georeferencing, directional filtering, etc. of lineaments and the generation of rose diagrams and maps of various parameters related to the spatial distribution of lineaments (for details see report on La Codosera area, Spain).

The distribution of lineaments mapped from various enhancements of TM data in the Nisa area is shown in Fig. 1, and the orientations of these summarized in Fig. 11.1a. The data can be divided into three clearly defined sets trending 060° , 130° and N-S (Table 11.1), with most lineaments being easily assigned to one of these three sets, which contain similar numbers of lineaments.

The pattern of lineaments is fairly constant throughout the area, but with some local variation in the proportions within each of the three sets. This is fairly



FIG. 11.1- LINEAMENTS MAPPED FROM LANDSAT TM IMAGERY IN THE NISA AREA, PORTUGAL; INSET IS ROSE DIAGRAM OF LINEAMENT TRENDS.

clear from the rose diagrams constructed for 4 x 4 km square blocks (Fig. 11.2). This spatial distribution of lineaments will be discussed later.

Table 11.1 - Summary of TM lineaments, Nisa area, Portugal.

Set	Mode	Range	%
1 (NE-SW)	060 ⁰	040-080	21.5
2 (NW-SE)	130 ⁰	110-150	19.2
3* (N-S)	170 ⁰	150-010	44.0

* possibly two sets at 165⁰ and 005⁰

11.4 - RELATIONSHIP BETWEEN LINEAMENTS AND FRACTURES

11.4.1 - Regional fracture survey.

Fractures were measured at various sites distributed within Nisa Batholith (Fig. 11.3). Due to the fairly homogeneous nature of this unit it provided a the best opportunity to sample the late stage fracturing, which was found to dominate the lineament pattern in the La Codosera area to the east (see Gumiel 1990, chapter 10).

The fracture system comprises four fairly clearly defined sets (Table 11.2, Fig. 11.3). The most dominant set trends NNW-SSE and is developed at most localities, possibly being most prominent in the west. Towards the east this is accompanied or replaced by a set trending NNE-SSW. Another well developed set of fractures trends ENE-WSW and is developed at most localities, whereas a fourth set trending NW-SE is more sporadically developed.

Table 2. Summary of the fracture sets sampled in ground surveys in the Nisa Batholith.

Set	Mode	Range	Comments
NNW-SSE	165 ⁰	150-000	main set
NNE-SSW	025 ⁰	000-040	minor set, local
ENE-WSW	070 ⁰	060-080	common secondary set
NW-SE	125 ⁰	110-140	variable secondary set

FIG. 11.2- ROSE DIAGRAMS OF SUB-AREAS OF LANDSAT LINEAMENT INTERPRETATION.

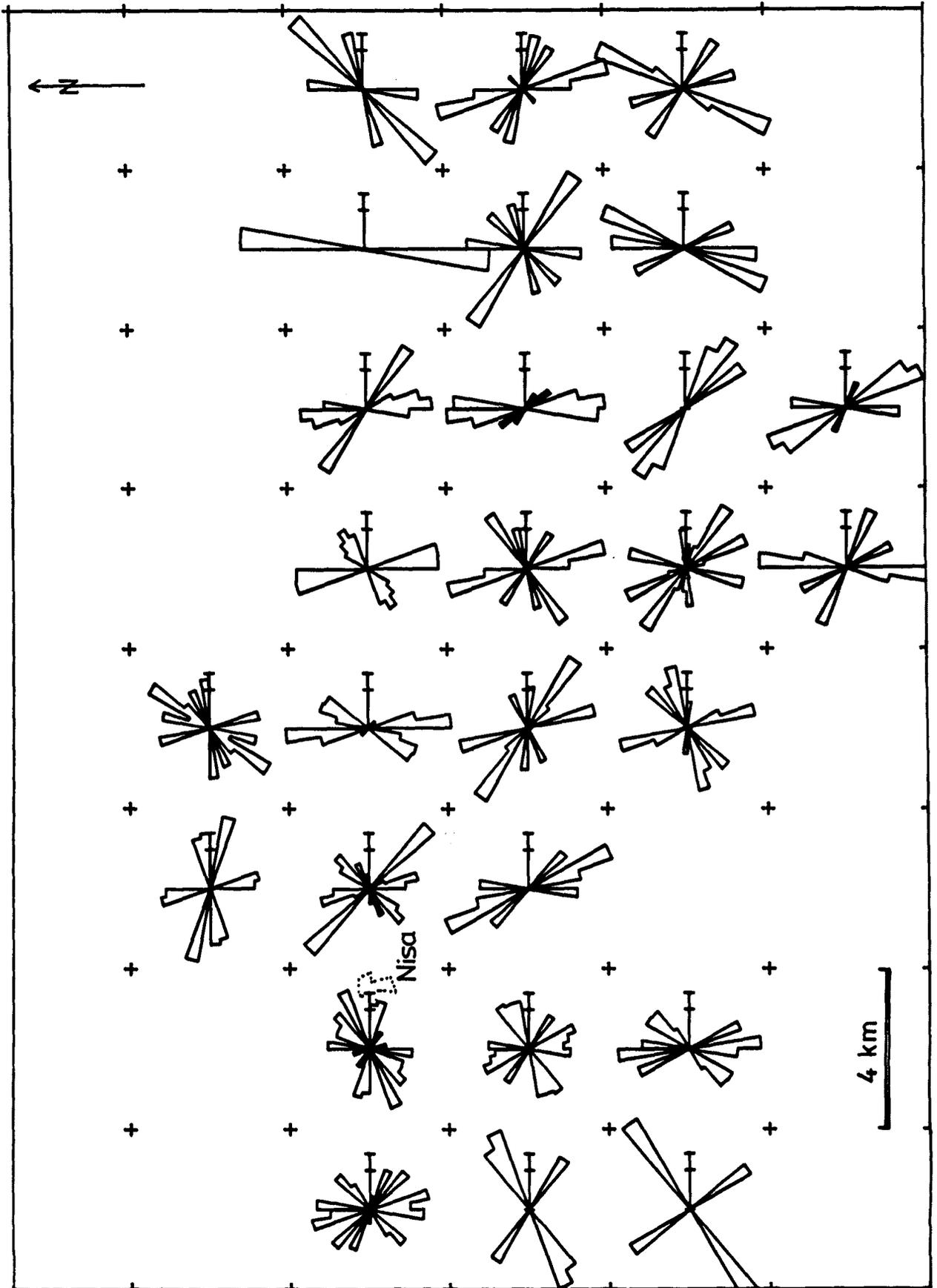
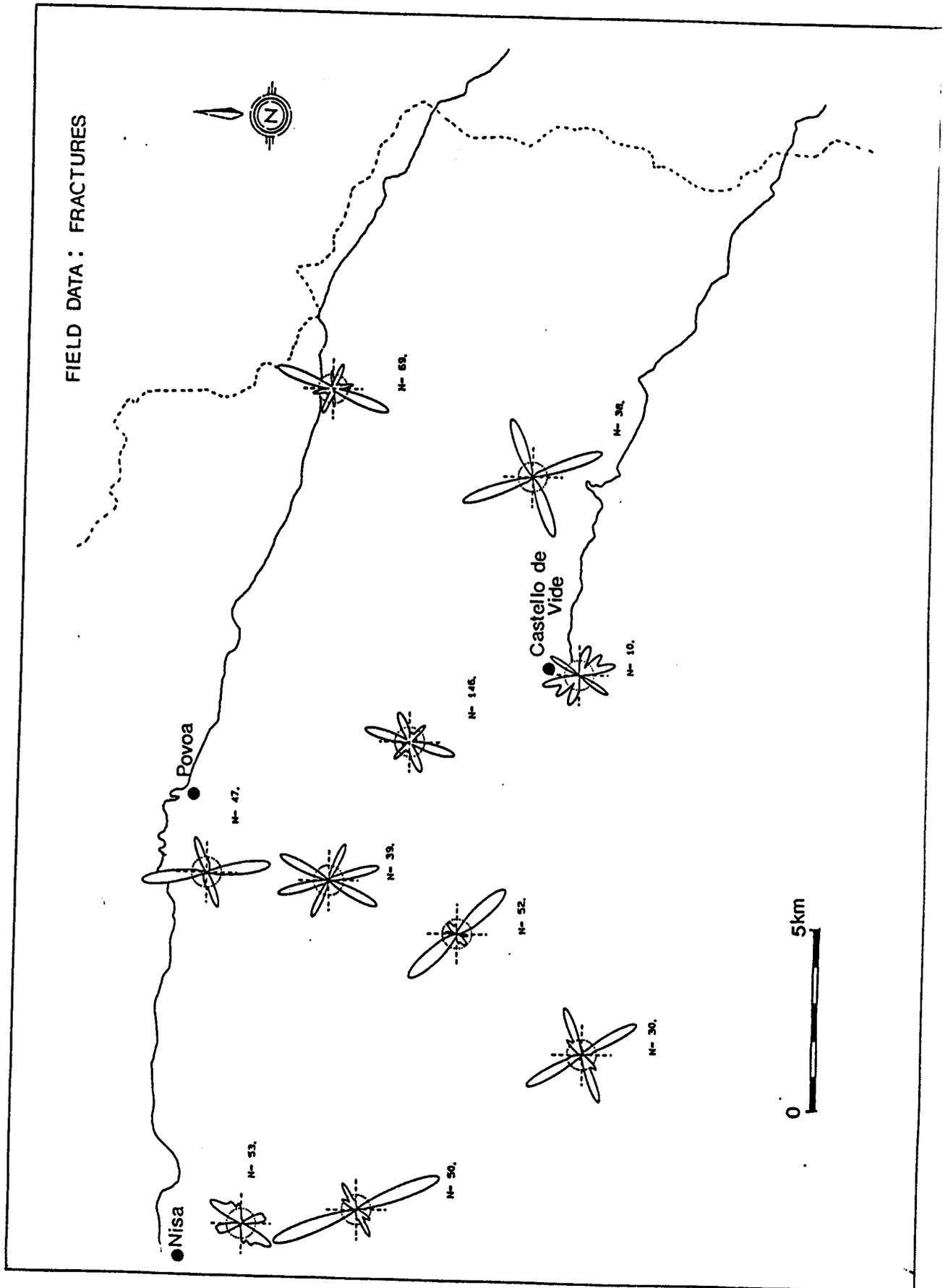


FIG. 11.3- FRACTURES MEASURED IN NISA GRANITE.



The fracture sets within the granite correspond closely to those found within the batholith in Spain (Fig. 11.4), the main difference being the stronger development of the NNW-SSE fractures in the Nisa area. This is thought to reflect a change in the dominance of fracture sets rather than a progressive rotation from NNE to NNW. The main reason for this interpretation is that both in Nisa and around Valencia de Alcantara both sets of fractures occur together; this is well seen in some of the sample sites at Nisa (Fig. 11.3).

11.4.2 - Lineaments from air photography and ground mapping.

In addition to ground fracture data a map of lineaments produced from air photograph and ground mapping by ENU was digitized (Fig. 11.5). This map shows three sets of lineaments, summarized in Table 11.3.

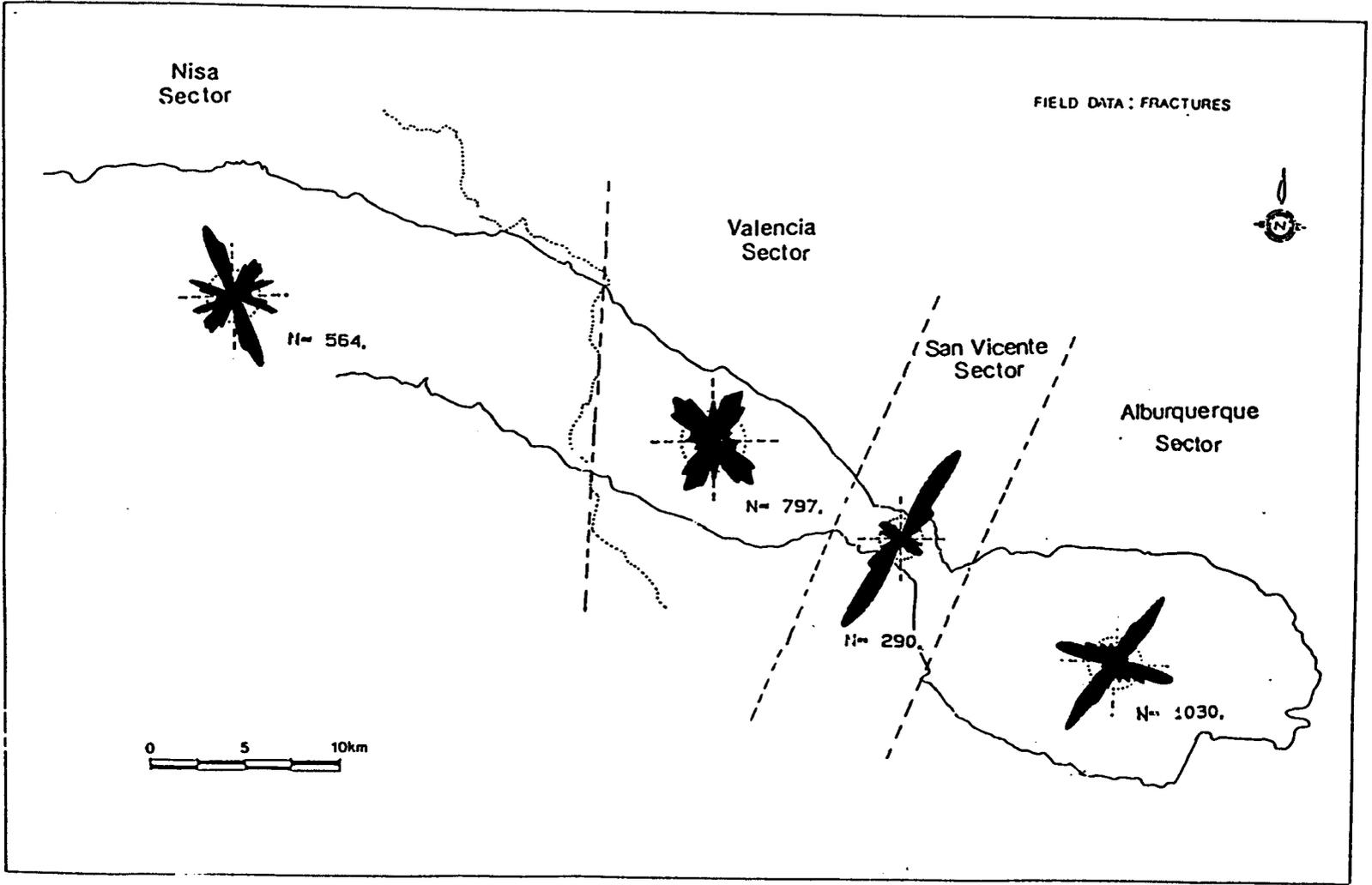
Table 11.3 - Summary of lineaments determined from air photographs and ground mapping by ENU in the Nisa area, Portugal.

Set	Mode	Range	%	
1	065 ⁰	035-085	6.3	
2	110 ⁰	085-145	62.7	inc. bedding
3	175	145-035	30.9	

These data correspond well with the Landsat lineaments, but are dominated by WNW-ESE lineaments in the country rocks. This lineament set includes features produced by the strike of bedding which would account for the higher proportion of these lineaments and their more WNW-ESE orientation (cf. NW-SE orientation of the TM lineaments. This set is almost completely absent from the granite. The N-S lineaments dominate the granite and its aureole.

The good correspondence between the orientations of fractures and the mapped and remotely sensed lineaments is apparent by comparing Tables 11.1, 11.2 & 11.3 (summarized in Fig 11.6); this strongly supports a link between the features. In studies of this sort one generally finds a good correlation between these data, but differences may arise through inclusion of other features in the lineament data, as is seen by the inclusion of bedding traces in the air photograph interpretation (Fig. 11.5). In the Landsat TM lineament study care was taken to exclude bedding and, of course, these were not included in the fracture measurements.

FIG. 11.4 - COMPARISON OF GROUND FRACTURE PATTERN IN SUB-AREAS OF THE NISA / ALBUQUERQUE BATHOLITH.



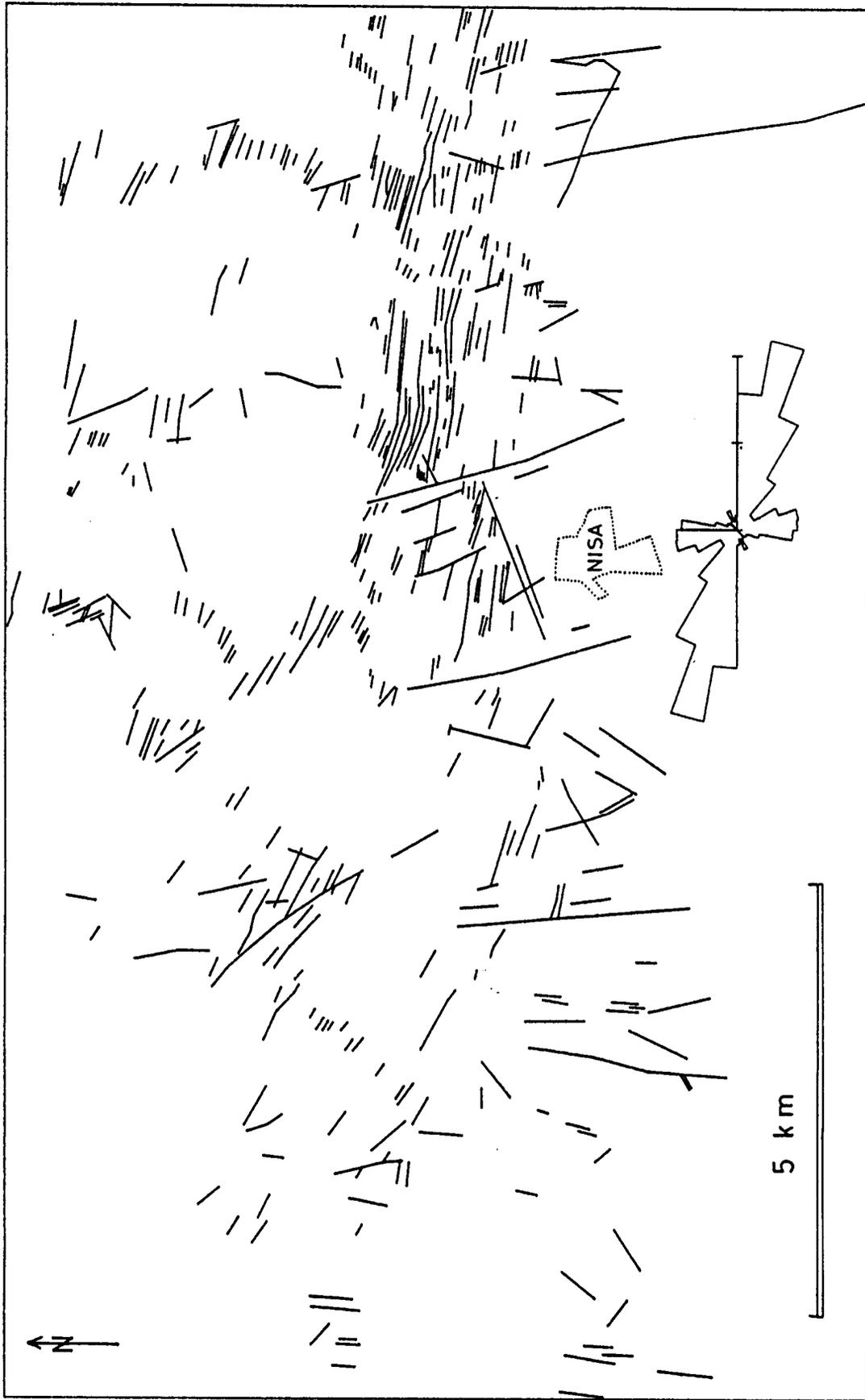


FIG. 11.5- MAPPED AND AIR PHOTOGRAPH LINEAMENTS, COMPILED FROM DATA BY ENU, COVERING THE SW QUADRANT OF THE NISA 1:50,000 SHEET.

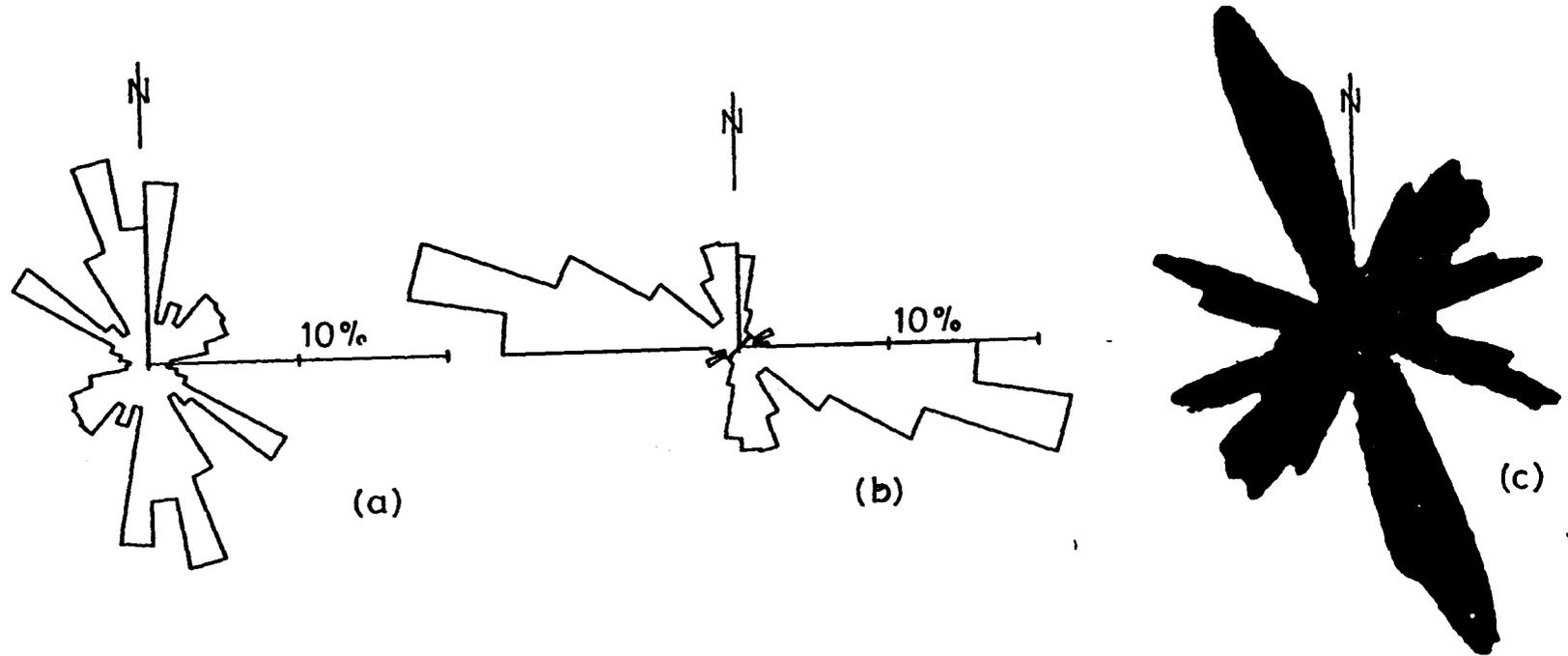


FIG. 11.6- ROSE DIAGRAMS TO COMPARE A) LANDSAT TM LINEAMENTS, B) MAPPED AND AIR PHOTOGRAPH LINEAMENTS AND C) GROUND FRACTURE MEASUREMENTS IN THE NISA AREA.

Most of the fractures measured on the ground were extension fractures and veins, which need not correspond to the trends of larger faults; the latter are zones of shearing often reactivated in several stress systems.

The fracture system recorded in the Nisa Batholith corresponds in several aspects with more detailed studies carried out to the east in the Alburquerque part of the batholith, where 2681 fractures were measured at approximately 70 sites (average 38 fractures per site) (Fig. 11.4). The Alburquerque project also compared Landsat, airphotograph and field measurement of fractures, together with drainage patterns. It was demonstrated that fracture patterns sampled by different sensing systems are not scale invariant (ie. not self-similar), thus, suggesting that it is important to select the appropriate system to locate the required scale of lineament targets. For example ground mapping might be the most appropriate method to investigate the role of fractures in small-scale engineering projects or in localizing mineralization within a mine, but satellite lineaments might be more significant in the location of major faults and fracture zones for earthquake risk, hydrological studies, waste disposal, etc. and in the location of major mineral prospects within an area.

11.5 - SPATIAL ANALYSIS OF LINEAMENTS

In general individual lineaments are easily assigned to one of the three main sets (Table 11.1). For structurally controlled processing ranges specified in Table 11.1 have been used to sub-divide the data.

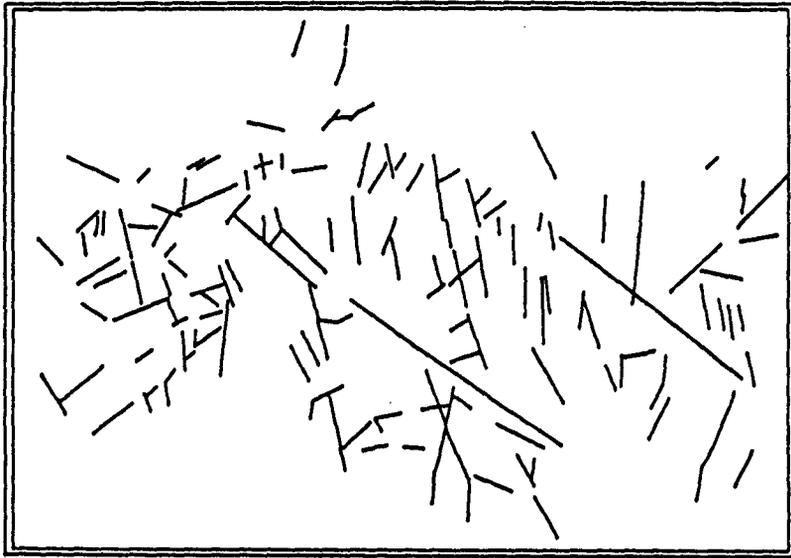
11.5.1 - Density

The density map (Fig. 11.7), calculated for a 3 x 3 km moving window, shows a fairly even spread of lineaments throughout the area, with highest values developed within the granite and along the northern contact. Density of lineaments within the country rocks is generally low. These variations could represent differences in surface characteristics of the rocks, but if this was the major effect one would expect lower densities in the more subdued topographic variation over the granite.

11.5.2 - Directional density and dominance

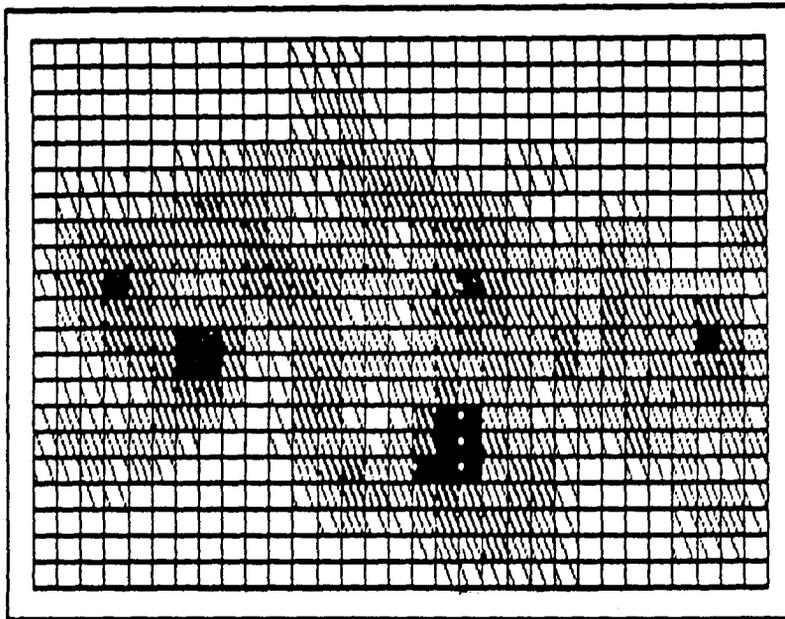
By assigning lineaments to one of the three main sets (Table 1) it is possible to examine the directional density of each. Since all lineaments were assigned to one of the three sets, these maps have strong internal correlations. This becomes more acute in the dominance maps, where the closure forces many negative correlations.

The NW-SE lineament set (3) includes two long lineaments within the granite, one trending SE from Nisa,



a

Smoothed density map



b

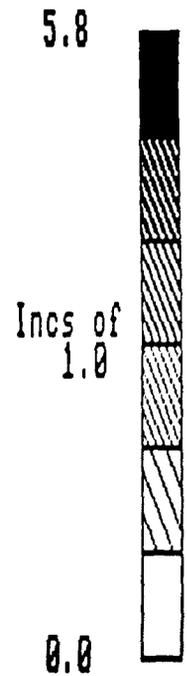


FIG. 11.7- (TOP)-SMALL TM LINEAMENT MAP TO WHICH ALL SUBSEQUENT COMPUTER DRAWN FIGURES RELATE; (BOTTOM) LANDSAT TM LINEAMENT DENSITY ($Km^2 \times 100$); DATA SAMPLED OVER 3X3 KM MOVING AVERAGE GRID.

the other passing close to Povoá (Fig 1). Both these major lineaments show up as zones of high directional density and dominance of NW-SE lineaments (Fig. 11.8). The zone through Nisa has a swarm of sub-parallel lineaments producing pronounced anomalies, which passes out into the contact metamorphic aureole in the area of the ENU uranium workings to the west of the town.

The directional density of the N-S lineaments (Fig. 11.9a) is highest in the granite, particularly in the block bounded by the two large NW-SE lineaments, where the set is dominant (Fig. 11.9b). This zone contains many N-S quartz veins with U anomalies and many old workings.

The 060° lineaments are fairly evenly developed throughout the area (Fig 10a), but only being dominant in scattered locations to the west of Nisa (Fig. 11.10b).

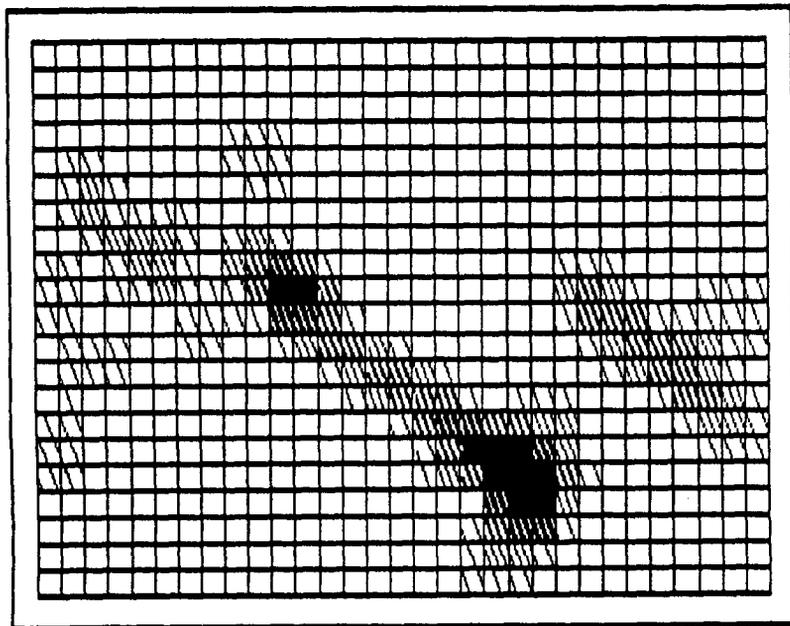
A general feature of the Nisa area is that the N-S and 060° sets of lineaments have a widespread development, but are best developed within the granite. This is clear from the directional density and dominance maps and well as from the lineament map itself (Fig. 11.1) and the rose diagrams for sub-areas (Fig. 11.2). On the other hand, the NW-SE lineaments occur as long, isolated lineaments or narrow zones within the granite. The pattern was largely developed after the emplacement of the Nisa/Albuquerque batholith.

11.6 - USE OF LINEAMENT MAPS AS AN AID TO MINERAL EXPLORATION

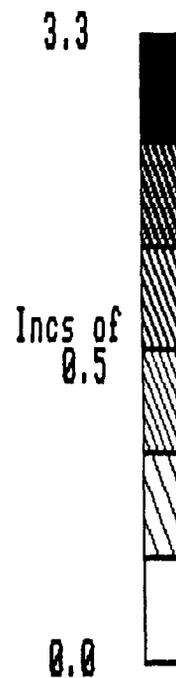
In this section we will discuss the lineament data in relation to the general structural setting of the Nisa area its mineralization. Using the Landsat data, combined with the ground structure and air photograph interpretation a clear picture of the fracture system has emerged. Three major sets of lineaments trend 060° , 130° and N-S (Fig. 11.1). The N-S set correlates well with extensional fractures and quartz veins, including those at known mineral prospects within the granite. In addition it has been possible to correlate individual Landsat lineaments with mapped faults and large quartz veins in many parts of the area, particularly in the granite. Thus the lineament analysis provides a useful dataset to augment the regional structural studies.

In order to convert these data into viable exploration models it is necessary to understand and relate the nature and kinematics of the fracture control to the mineralization. Only then can full use be made of the mapping available from Landsat imagery, through the lineament map its self and the maps of density and dominance, as a basis for the definition of exploration targets.

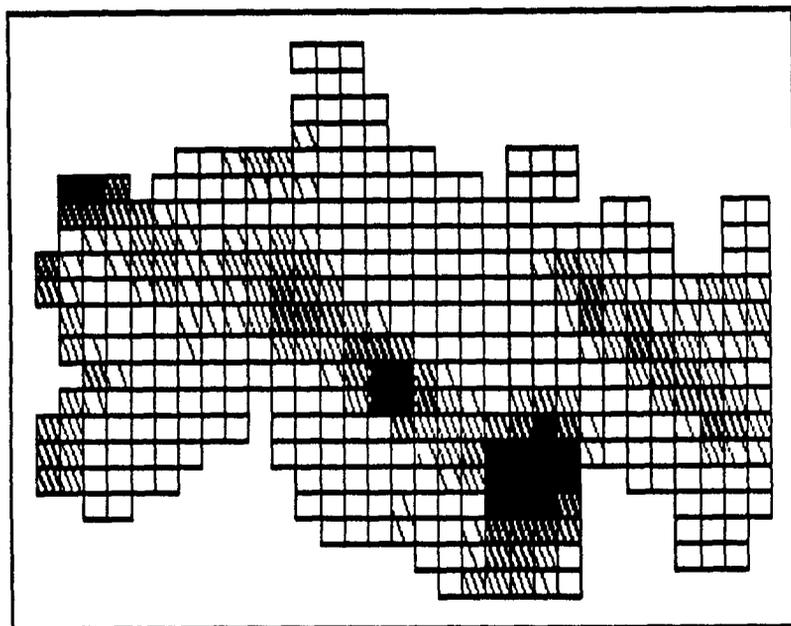
Smoothed directional density map 90 - 150



a



Smoothed Dominance Map 90 - 150



b

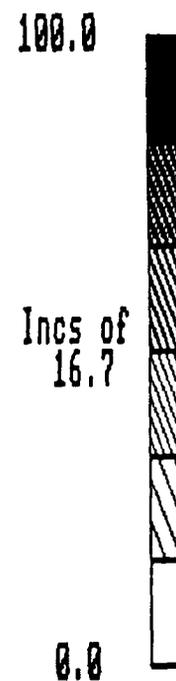
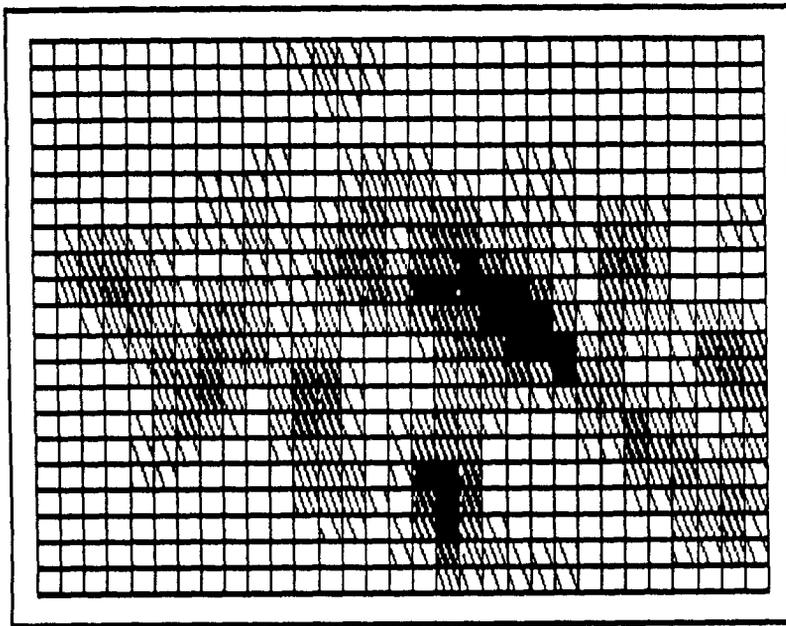
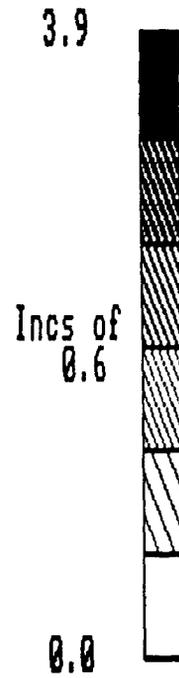


FIG. 11.8- DIRECTIONAL DENSITY (TOP) AND DOMINANCE (BOTTOM) OF NW-SE (090-150°) LANDSAT LINEAMENTS.

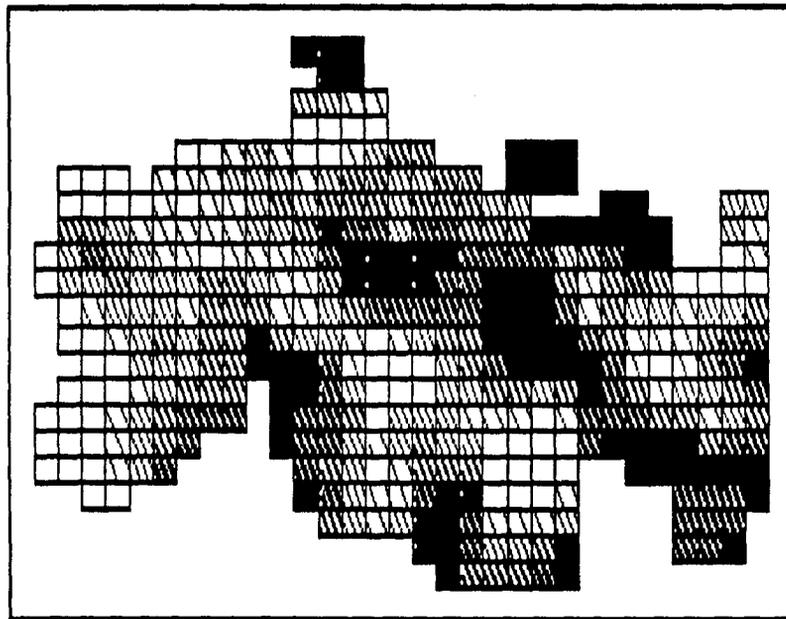
Smoothed directional density map 150 - 30



a



Smoothed Dominance Map 150 - 30



b

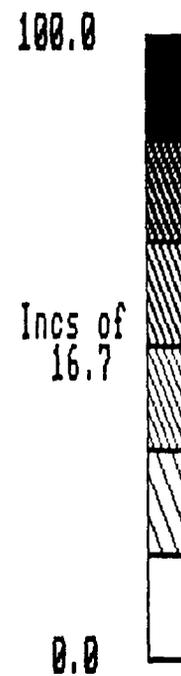
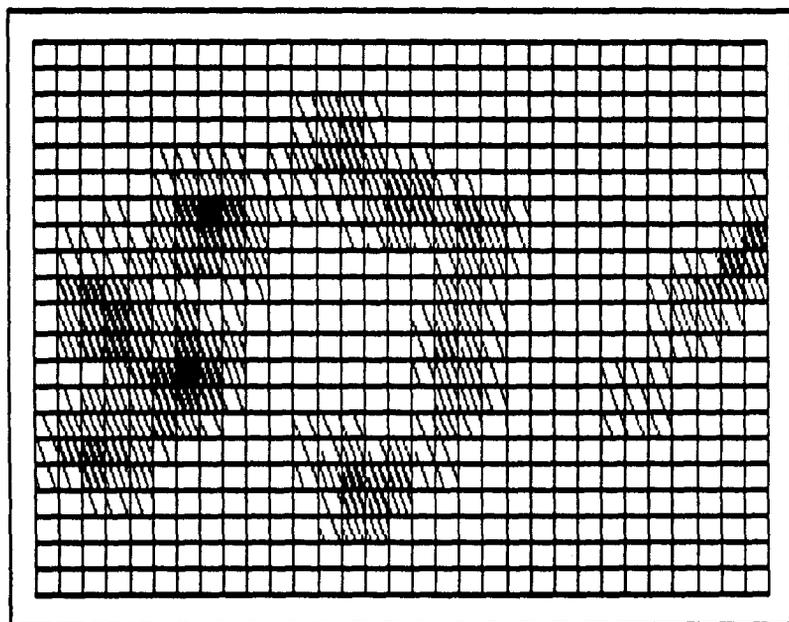
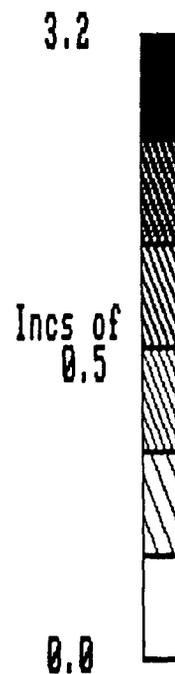


FIG. 11.9- DIRECTIONAL DENSITY (TOP) AND DOMINANCE (BOTTOM) OF N-S (150-030°) LANDSAT LINEAMENTS.

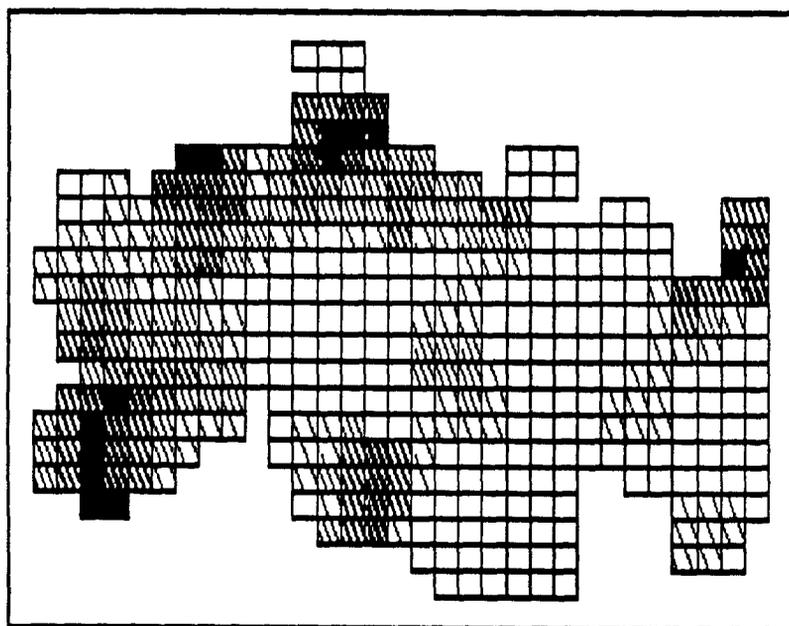
Smoothed directional density map 30 - 90



a



Smoothed Dominance Map 30 - 90



b

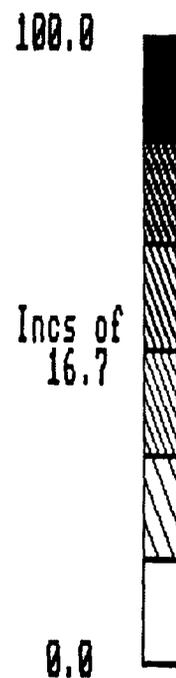


FIG. 11.10- DIRECTIONAL DENSITY (TOP) AND DOMINANCE (BOTTOM) OF NE-SW (030-090°) LANDSAT LINEAMENTS.

11.6.1 - Uranium mineralization within the granite.

Known uranium mineralization occurs in two settings:

1) in large N-S fractures within the granite, usually as vuggy and brecciated veins containing quartz, chalcedony, apatite, pitchblende, pyrite etc..

2) adjacent to the granite, as in the main working to the west of Nisa.

Both of these situations show important relationships to the Landsat TM lineaments. Many of the individual quartz veins and associated fractures can be mapped from Landsat, but no distinction between U-bearing and barren veins is apparent. There is, however, an extremely interesting relationship between both types of mineralization and the large NW-SE lineaments.

Firstly, the contact aureole deposit to the west of Nisa occurs where the larger of the two NW-SE lineaments intersects the aureole, and there is some suggestion that it may be rotated and deflected along the contact. This would obviously be a site for stress concentration and enhanced fracturing, which, combined with suitable host lithologies, might provide suitable sites for uranium precipitation from fluids flowing through the granite fractures.

Secondly, the largest concentration of U-bearing quartz veins in the granite occurs in the block between the two large NW-SE fractures. These veins are obviously extension fractures and their location could be interpreted as within a large pull-apart zone, implying some dextral movement on the main NW-SE lineaments. In the Albuquerque/La Codosera area we have identified late dextral shear on NW-SE fractures and attributed this to late Hercynian, antithetic faulting along the Badajoz Shear Zone. Later reactivation as antithetic faulting associated with NE-SW sinistral faults, such as the Alentejo-Plasencia Fault, is also possible.

11.6.2 - Potential for gold mineralization.

There are no significant records of gold in the Nisa area, and this project was not concerned with this element in this region. It might, however, be worth pointing out that the structural style of lineaments in the Nisa area resembles closely that at La Codosera. There, the main prospects, such as Los Algarbes and La Portilla, lie on steep N-S to NE-SW veins, which appear to be developed as extensional fractures, with some left-lateral reactivation, sited at the terminations of the larger NW-SE faults. Using the known structural controls, the lineament map provides a basis from which to identify new target areas which show abundant N-S to NE-SW fracturing adjacent to large NW-SE lineaments; precisely the situation for many of the quartz veins to the east of Nisa.

This observation is based solely on the structure and clearly there are differences on the host lithology and the nature of the fluids would need to be investigated carefully. Further work on these aspects might provide an interesting test to the work in the La Codosera area and allow a wider assessment to be made of the relative importance of some of the factors controlling the gold mineralization.

11.7 - CONCLUSIONS

This study has demonstrated that remotely sensed data from Landsat TM and air photography can be used to postulate a strong structural control to the mineralization in the Nisa area. An understanding of the kinematics of these structures when linked to the mapping provided by Landsat imagery allows exploration models to be developed.

These models are built up by the integration of field based and remote sensing work in the following manner. Firstly, it is necessary to establish a clear correlation between sets of lineaments and fractures based on their directional, spatial and temporal relationships. Once this is established the Landsat imagery may be used to map specific lineaments or zones of a particular pattern of lineaments. Only when the kinematics of these structures are understood can models be developed which relate the structural control of the various types of mineralization to specific locations, providing exploration targets.

The main new result to come from this work concerns the possible significance of major NW-SE lineaments. These fractures may control the fluid flow and mineralization in the granite. Precipitation is associated with N-S extension fractures locating the vein style mineralization. It may be significant that such structures were not recognised in the Alburquerque part of the batholith, which contains significantly less uranium mineralization.

REFERENCES

Gumiel, P. 1990. (editor) Final Report of the La Codosera area.

Sanderson, D.J. & Dolan, J.M. 1986. Structural and statistical analysis of lineament patterns as a guide to exploration. In: First European Workshop on Remote Sensing in Mineral Exploration (edited by Van Wambeke, L). EEC Publication EUR 10511 EN-FR, 9-33.

Sanderson, D.J. 1988. Remote sensing and the structural control of mineralization in the eastern Rhodope Massif, northern Greece. In: Second European Workshop on Remote Sensing in Mineral Exploration (edited by Van Wambeke, L). EEC Publication EUR 11317 EN-FR, 345-367.

CONCLUSIONES GENERALES DE LAS AREAS URANIFERAS DE CIUDAD RODRIGO (ESPAÑA), Y AZERE Y NISA (PORTUGAL).

El área de Mina Fe está estructurada por un conjunto de fracturas de dirección principal WSW-ENE, que compartimentan la zona en bloques de esa misma dirección. Estas zonas de fractura han sido reconocidas, tanto en el terreno, como mediante los diversos métodos de exploración (aeroportados, gravimetría, teledetección etc.) que han sido utilizados de una forma integrada en un Sistema de Información Geográfico (S.I.G.) existente en el ITGE (ver caps. 1, 2, 4, 5, 6).

Estas zonas de fractura han podido actuar como cizallas dúctil-frágil, desde el Hercínico y de hecho, muestran diferentes etapas de reactivación hasta el Terciario. La mayor parte de los yacimientos e indicios de uranio conocidos están localizados en estas estructuras o próximos a ellas.

En base a la integración de datos de análisis de imágenes Landsat TM, gravimetría y estudios sobre terreno, se apunta la posibilidad de que estos "corredores estructurales", de dirección WSW-ENE, hayan podido favorecer el emplazamiento de algunos granitos, y es lógico suponer que por debajo de los materiales del CEG en los alrededores de Mina Fe, se encuentre un basamento granítico próximo (ver caps. 4, 5 y 6).

Debido al control estructural de la mineralización de uranio a distintas escalas, la aplicación de los métodos geofísicos dirigidos a la identificación de estructuras, ha demostrado ser de gran importancia (ver caps 3, 6 y 7) La información obtenida mediante la combinación de diversos métodos geofísicos, a varias escalas, ha resultado coherente y útil para delinear los controles estructurales de la mineralización.

Los métodos geofísicos aeroportados (ver cap.7) han demostrado su interés tanto para la exploración regional, como para fases detalladas. En particular, los métodos heliportados a mallas cerradas han proporcionado una información muy completa, tanto desde el punto de vista de litologías, como en la definición de estructuras. La información obtenida mediante estos métodos es comparable cualitativamente a la proporcionada por métodos terrestres, y por lo tanto puede utilizarse como orientación, limitando estos últimos (más costosos) a objetivos más concretos.

Por otra parte, existen argumentos geoquímicos como para pensar que determinadas facies del CEG (pizarras ampelíticas) en los alrededores de mina Fe tienen un contenido geoquímico elevado de uranio ($U > 10$ ppm, ver cap.8) existiendo una correlación positiva entre U total y Corg. en áreas no tectonizadas. De ahí, que la influencia de dichas rocas como posible "fuente" del uranio sea de considerable importancia. No obstante, el factor de enriquecimiento es de tipo estructural (fallas sísmicas) debido a

las últimas reactivaciones (movimientos alpinos), lo que esta de acuerdo con los datos obtenidos sobre la edad de la pechblenda de mina Fe.

En base a los datos sobre inclusiones fluídas e isótopos estables (O, C y S) que se poseen sobre la mineralización de mina Fe (ver cap.9), el modelo para explicar el origen del yacimiento es el de un sistema hidrotermal funcionando como consecuencia de la tectónica alpina durante el Terciario Inferior y Medio. La consistente fracturación (fallas sísmicas) que existe en el área permitió la penetración profunda de aguas meteóricas, las cuales sufrieron calentamiento y reaccionaron con las rocas metasedimentarias encajantes. El Uranio, junto con otros componentes de la mineralización, tales como Mg, Ca, K, Fe, Mn, C y S fueron lixiviados de los metasedimentos. El sistema hidrotermal pudo haber sido favorecido por procesos de bombeo sísmico, como fue sugerido por Arribas (1985),

Sin embargo, hay que destacar que los yacimientos uraníferos portugueses de tipo "ibérico" presentan una distribución espacial directamente correlacionable con los granitos hercínicos fértiles (ver cap. 10). Estos granitos, postectónicos, ocupan una posición estructural alta y presentan un elevado contenido en U total.

Al igual que en los yacimientos de uranio españoles, en los portugueses el control estructural es primordial. Las zonas de fractura (concretamente las reactivaciones) facilitan el movimiento de los fluídos, la porosidad de los metasedimentos y la concentración de las mineralizaciones. De la misma forma, litologías específicas pueden jugar también un papel importante.

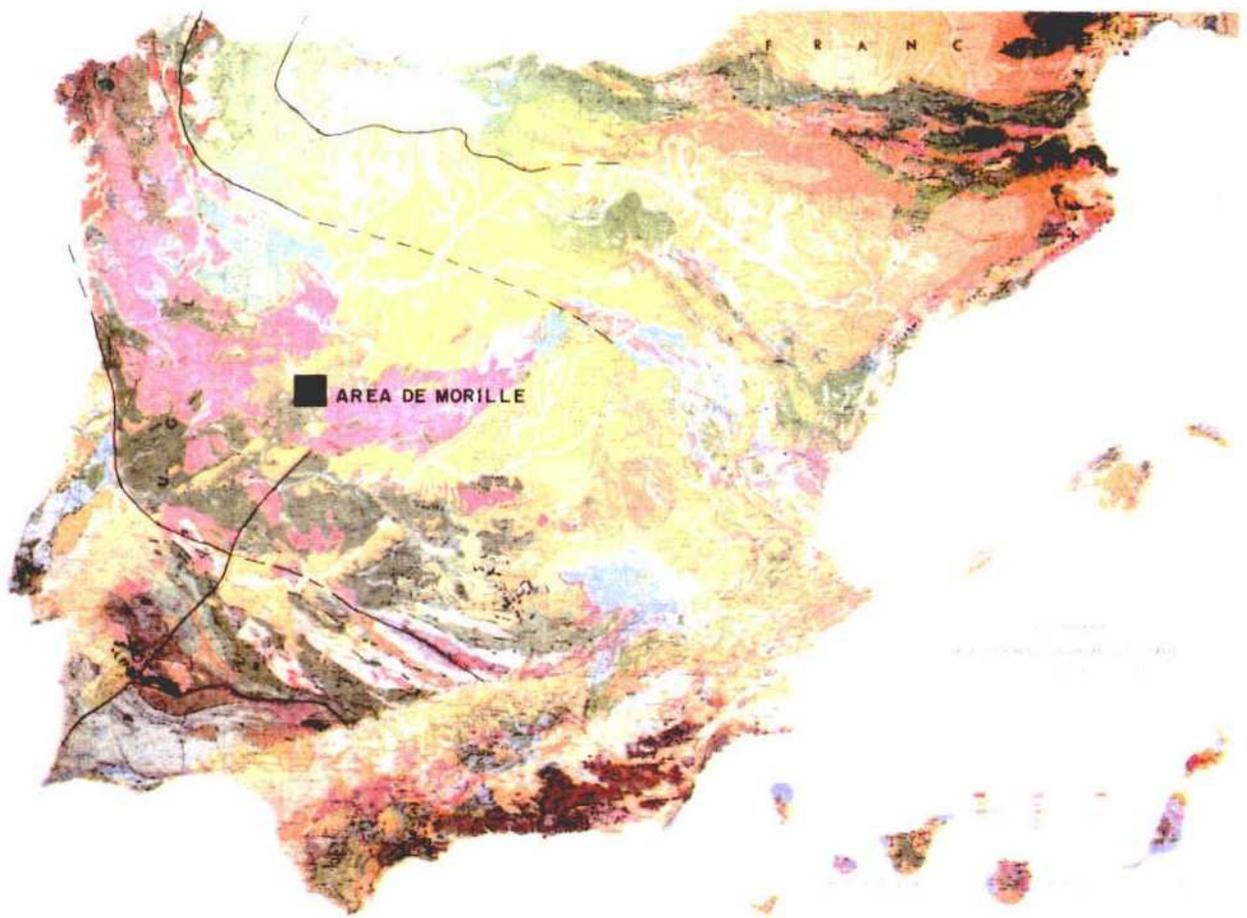
Por otra parte, y al igual que sucede para las zonas uraníferas españolas, la integración de diversas técnicas de prospección conduce a un mejor conocimiento geológico de las áreas potenciales, aumentando consiguientemente, la probabilidad de encontrar nuevos yacimientos uraníferos.

En el área de Azere, la constitución de bloques (horsts y grabens de dirección N60°E produce una estructuración, que a gran escala, permite delimitar zonas potencialmente productivas y zonas estériles.

Finalmente, en el área de Nisa, y teniendo en cuenta la estructuración producida por los lineamientos (ver cap.11), y las similitudes con el área de La Codosera-Alburquerque (ver Vol.1), se puede justificar el comienzo de una fase de exploración de oro en aquella zona, en la que se pueda aplicar el conocimiento y los criterios de exploración adquiridos durante el desarrollo de este Proyecto.

WOLFRAMIO

AREA DE MORILLE - MARTINAMOR (SALAMANCA - ESPANA)



CAPITULO - 12 - LOS YACIMIENTOS DE TUNGSTENO DE LA ZONA DE MORILLE, PROVINCIA DE SALAMANCA

Antonio Arribas (Dir.General Sc.R&D Com E.C. Brussels,Belgium)

INTRODUCCION

La zona de Morille, situada 15 km al sur de la ciudad de Salamanca, ocupa un domo anticlinal de edad hercínica constituido por rocas del Complejo Esquisto Grauwáquico (CEG). Esta estructura, denominada Antiforma de Martinamor, está limitada por las depresiones tectónicas del río Tormes, al este, y de Salamanca-Ciudad Rodrigo, al oeste, y por los sinclinales de Salamanca, al norte, y de Las Veguillas, al sur, estos dos últimos constituidos por formaciones ordovícicas y silúricas. Los granitos afloran principalmente en la unidad oriental de la Antiforma.

12.1 - ESTRATIGRAFIA

12.1.1 - Paleozoico

Las formaciones paleozoicas ocupan la casi totalidad de la zona. Se agrupan en dos unidades principales: la serie inferior, llamada de Morille, y la superior, o de Aldeatejada, cuyas edades han sido situadas entre el Cámbrico Inferior y el Precámbrico Superior.

La **Serie de Morille**, cuya potencia puede sobrepasar los 1000 m, es la más importante. En ella se distinguen tres niveles.

El nivel inferior, correspondiente a la Formación Bernoy, comprende los materiales más antiguos, formados por esquistos grafíticos, micacitas, cuarcitas, anfibolitas y rocas sílico-carbonatadas, así como esquistos y gneises con anfíbol, diópsido, estaurólita, silimanita y granate. Este nivel termina con unas cuarcitas, a veces conglomeráticas, cuya potencia puede alcanzar 15 metros. La esquistosidad visible (S2), está horizontal o presenta buzamientos muy suaves, y sus materiales han sufrido el mayor grado de metamorfismo de la zona.

El nivel medio o Formación Monterrubio está constituido por conglomerados feldespáticos intercalados en cuarcitas y esquistos con feldespato y anfíbol. Estos microconglomerados han sido llamados porfiróides por su origen parcial o totalmente volcánico.

El nivel superior o Formación Cabezo está formado esencialmente por cuarcitas y micacitas con biotita, en las que aparecen intercalados algunos esquistos anfibólicos.

La **Serie de Aldeatejada** aflora en los flancos norte y sur de la antiforma de Martinamor. Está constituida esencialmente por cloritoesquistos y sericitoesquistos, muchas veces ampelíticos, en los que existen intercalaciones de cuarcitas y porfiroides.

12.1.2 - Terciario

Los sedimentos terciarios rellenan tres cuencas bien diferenciadas desde el punto de vista tectónico y estratigráfico, las de Salamanca-Ciudad Rodrigo, Morille y el Tormes, las cuales están limitadas por fracturas NE-SO de edad alpina.

12.2 - ROCAS METAMORFICAS

Las rocas metamórficas de la antiforma de Martinamor se pueden dividir en cinco grandes grupos: cuarcitas, porfiroides, esquistos, gneises y rocas calcosilicatadas.

12.2.1 - Cuarcitas

Las cuarcitas tienen textura granoblástica y grano fino, y varían desde ortocuarцитas a rocas micáceas y feldespáticas, en las que puede dominar exclusivamente un tipo de mica -moscovita o biotita- o los feldespatos, o estar varios de estos minerales presentes a la vez. Clorita, apatito, circón, turmalina y opacos, normalmente magnetita, son los principales minerales accesorios.

También son frecuentes las cuarcitas granatíferas y anfibólicas. La presencia de silicatos cálcicos indica que el cemento de las areniscas originales fue a veces calcáreo, siendo frecuente en las cuarcitas anfibólicas las texturas fasciculares del tipo horblendegarbenschiefer. Apatito, esfena, circón y opacos son los principales minerales accesorios.

12.2.2 - Esquistos

Son las rocas más abundantes de la antiforma de Martinamor, donde se pueden encontrar desde verdaderas ampelitas, con mucha materia carbonosa, hasta esquistos cuarzomicáceos y feldespáticos, e incluso granatíferos y estaurolíticos. En el primer caso, los minerales esenciales son moscovita y/o biotita y/o plagioclasas ácidas, y los accesorios, apatito, circón, opacos y turmalina. En el segundo caso, el granate almandino y la estaurolita entran como minerales esenciales y la esfena como accesorio.

12.2.3. Gneises

En la antiforma de Martinamor, los gneises, es decir, las rocas con foliación bien desarrollada, son bastante raros. Los únicos afloramientos corresponden a gneises de dos micas, con biotita dominante, y estaurolítico-silimaníticos, con granates.

Las rocas originales fueron probablemente areniscas arcóscicas de grano más o menos grueso y cemento arcilloso, en donde los fragmentos de cuarzo de mayor tamaño recrystalizaron, dando lugar a una textura en mosaico bastante homogénea, y el cemento llegó a dar silimanita. Los granates están casi siempre presentes, y el apatito, circón, la turmalina y los minerales opacos son los principales minerales accesorios.

12.2.4. Porfiroides

Corresponden a rocas cuarzo-feldespáticas, moscovíticas o de dos micas, derivadas de microconglomerados de tipo arcóscico o de materiales sedimentarios que tenían composición de una roca piroclástica de tipo riolítico. Los minerales esenciales son cuarzo, feldespatos -plagioclasas y microclina-, biotita y moscovita, si bien el cuarzo es, en ocasiones, el mineral dominante.

12.2.5. Rocas calcosilicatadas

Todas las rocas de este tipo que se han estudiado en la zona central de la antiforma de Martinamor corresponden a rocas de tipo skarn, producidas por metamorfismo regional, no de contacto, a partir de materiales que originalmente tenían la composición de margas más o menos calcáreas, e incluso, en algunas raras ocasiones, de verdaderas calizas, intercalados en la secuencia fundamentalmente pelítica que constituye la Serie de Morille.

El metamorfismo progresivo sufrido por los materiales calcosilicatados durante la primera fase tectónica dio lugar a la formación de skarnoides, es decir, de gneises piroxénicos y anfibólicos, de grano a veces muy grueso, compuestos esencialmente de plagioclasas cálcicas, diópsido, hornblenda, calcita, grosularia, vesubiana y biotita, acompañados por scheelita, esfena, cuarzo, apatito, ilmenita, rutilo, circón, hematites y magnetita, como minerales accesorios, y muy ocasionalmente, escapolita.

Posteriormente, durante y después de la segunda fase de deformación, se produjo en el contacto de los materiales pelíticos y las capas y boudines calcosilicatados un nuevo tipo de skarn, zonado en este caso, por difusión del calcio hacia las rocas más alumínicas.

12.3 - ROCAS IGNEAS

Las rocas ígneas se concentran especialmente en la mitad oriental de la antiforma. Esto se debe, en parte, a que ella está levantada con respecto a la mitad occidental, por lo que la erosión ha descubierto niveles más profundos en los que dominan las rocas plutónicas. De éstas hay tres tipos principales: el ortogneis de San Pelayo y los granitos de Martinamor y Santa Genoveva.

12.3.1 - Ortogneis de San Pelayo

Representa la primera manifestación ígnea de la antifirma, y corresponde a una granodiorita de dos micas que ha sido deformada, al menos, por la segunda fase tectónica, respecto a la cual es claramente anterior.

Los minerales esenciales son cuarzo, microclina, plagioclasas, biotita y moscovita, los cuales van acompañados por apatito, circón y raramente turmalina, como minerales accesorios.

La edad del ortogneis de San Pelayo, obtenida por el método U/Pb sobre circón y monacita, es de 332 ± 13 M.a. Algunos de los circones tienen núcleos heredados cuya edad corresponde a 1893 ± 95 M.a. El ortogneis tiene una relación isotópica inicial $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ de 0.723949.

12.3.2 - Granitos de Martinamor

La segunda intrusión de rocas ígneas, y la más importante, está constituida por los llamados granitos de Martinamor, los cuales forman un enjambre de apuntamientos y diques que ocupan el núcleo de la antifirma, y que penetran, la mayor parte de las veces en concordancia, los materiales metamórficos deformados por la segunda fase tectónica.

El tamaño de los innumerables afloramientos, muchos de ellos no cartografiados, puede variar. En el caso de los diques, entre varios decímetros y más de 50 m, y entre 200 m, de sección y más de 2 km, de longitud en el caso de los apuntamientos.

El leucogranito de Martinamor, muy heterogéneo por su textura, ya que hay facies equigranulares, aplíticas y pegmatíticas, a veces mixtas, es claramente sódico, fuertemente albitico y moscovítico, con microclina y abundantes granates y turmalina. Entre los minerales accesorios, el apatito, circón, pirita y esfena son los más abundantes, especialmente el primero.

La edad de los granitos de Martinamor, obtenida sobre roca total, apatito y moscovita por el método Rb/Sr, es de 316 ± 5 M.a. El granito tiene una relación isotópica inicial $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ de 0.719866.

12.3.3 - Granito de Santa Genoveva

La última intrusión de la zona de Morille corresponde al llamado granito de Santa Genoveva, el cual da lugar a un pequeño afloramiento, de aproximadamente 1 Km^2 , situado junto a la carretera N-630, 20 Km. al sur de Salamanca, y más o menos en el eje de la antifirma. Se trata de una granodiorita de dos micas, de grano grueso a medio, a veces algo porfídica, que no ha sido afectada por la tercera fase tectónica.

Los minerales esenciales son cuarzo, microclina, plagioclasa y biotita, con moscovita en menor proporción, si bien en algunas zonas predomina sobre la biotita. Los minerales accesorios son apatito y circón.

Hay que destacar que este granito contiene filones de cuarzo y sheelita comparables a los que existen en los granitos de Barruecopardo, en Salamanca; La Lapa, en Cáceres, y Murcoes, en Portugal, y que, como en estos casos, han sido ocasionalmente objeto de explotación.

La edad del granito de Santa Genoveva obtenida sobre circones por el método U/Pb, es de 298 ± 29 M.a. El granito tiene una relación isotópica inicial $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ de 0.720021.

12.4 - TECTÓNICA Y METAMORFISMO

Desde el punto de vista tectónico la zona de Morille presenta una gran complicación, pues en ella se han sucedido cuatro fases principales de deformación y dos etapas de metamorfismo.

12.4.1 - Primera fase tectónica

Esta fase dio lugar a pliegues más o menos apretados - reconocibles solamente fuera de la antiforma de Martinamor-, de dirección $N 110^\circ E$ y plano axial subvertical o ligeramente inclinado hacia el N, que van acompañados por una esquistosidad de flujo (S1) visible únicamente al microscopio, ya que ha sido borrada casi por completo por la segunda fase de deformación.

La primera fase fue acompañada y seguida por un primer estado de metamorfismo correspondiente a la facies de las anfibolitas almandínicas con piroxeno. Como consecuencia de él, en las rocas pelíticas se formaron biotita, moscovita, plagioclasas ácidas -oligoclasa o andesina-, almandino, estaurólita, y accidentalmente cordierita y sillimanita, mientras que en los niveles carbonatados se desarrollaron los skarnoides constituidos por plagioclasas más básicas -andesina o labrador-, calcita, cuarzo, diópsido, grosularia, idocrasa, esfena y accidentalmente ortosa y escapolita. Por otro lado, en las rocas cuarzo-feldespáticas, además de las plagioclasas y ocasionalmente granates, se formó microclina.

12.4.2. - Segunda fase de deformación

Más intensa que la anterior, la segunda fase tectónica dio lugar a pliegues isoclinales tumbados de dirección $N 110^\circ E$ a $N 120^\circ E$, de planos axiales subhorizontales o vergentes hacia el Sur, y cuyos ejes b son horizontales o están ligeramente inclinados hacia el oeste (Fig.12.1). La esquistosidad de flujo (S2) y la foliación metamórfica que dominan en la zona de Morille corresponden a esta fase (Fig.12.2), lo mismo que el boudinage de las capas más competentes, especialmente cuarcitas y niveles calcosilicatados (Fig.12.3).

La segunda fase de deformación estuvo acompañada por un metamorfismo de la facies de los esquistos verdes que dio lugar al desarrollo de cuarzo, clorita, biotita, moscovita, albita, clinozoisita y epidota en las rocas pelíticas. Como consecuencia

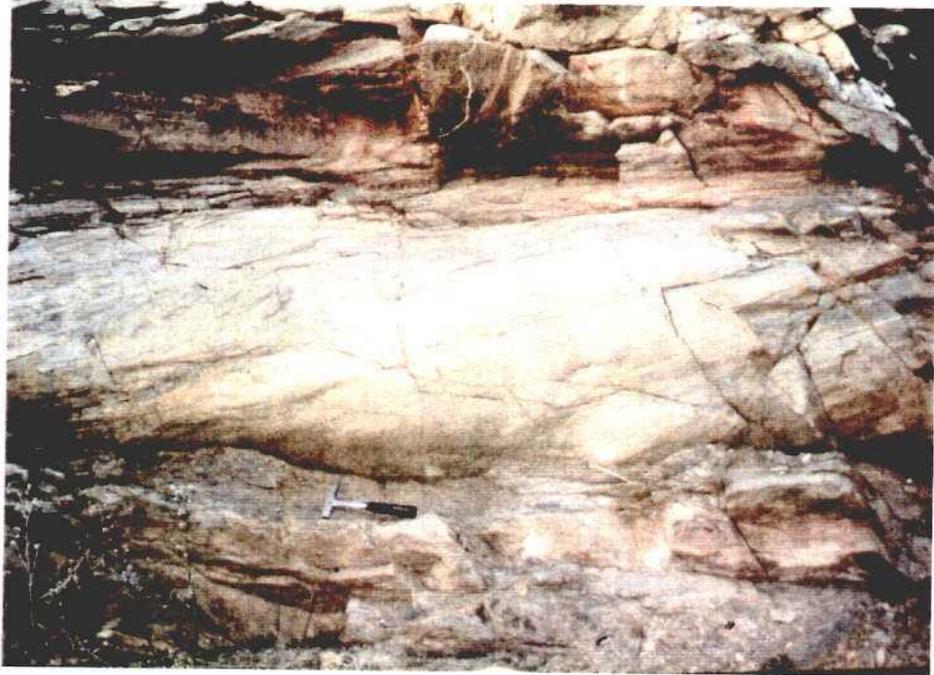


FIGURA 12.1- MINA ALEGRIA. ASPECTO DE LA LINEACION PRODUCIDA POR LA INTERSECCION DE S0 Y S1 ALABEADA POR UN PLIEGUE DE SEGUNDA FASE TECTONICA.



FIGURA 12.2- MINA ALEGRIA. PLIEGUES DE SEGUNDA FASE, DE PLANO AXIAL SUBHORIZONTAL, EN LOS CLORITOESQISTOS DE LA SERIE DE MORILLE.

de él, se produjo una cloritización y silicificación parcial de los granates, y una sericitización casi total de la silimanita y estaurolita formadas durante la primera fase tectónica; siendo de destacar que, muy frecuentemente, tanto la estaurolita como los granates, así como la clorita derivada de estos últimos, conservan aún o señalan la posición del plano de esquistosidad de la primera fase de deformación. Al mismo tiempo, en las rocas calcosilicatadas, el metamorfismo asociado con la segunda fase dio lugar a la aparición de una paragénesis constituida por hornblenda, actinolita, tremolita, albita, clinozoisita, epidota, piedmontita, cuarzo y clorita.

En el caso de estas últimas rocas se debe destacar que tanto los lentejones calcosilicatados como los boudines aparecen frecuentemente zonados como consecuencia de una difusión metamórfica del calcio desde los materiales calcáreos a los esquistos pelíticos encajantes (Fig.12.4).

12.4.3 - Tercera fase

Esta fase, que tiene casi la misma dirección, N 110°E, que la anterior, e igual que la primera, dio lugar a pliegues más o menos apretados y a una crenulación de plano axial subvertical. La antifirma de Martinamor, así como la intrusión y orientación de los granitos que ocupan el núcleo de la antifirma, están relacionados con esta fase. En consecuencia, la esquistosidad (S2), originalmente subhorizontal, buza hacia el Sur en el flanco meridional de la antifirma, y hacia el Norte en el flanco septentrional.

En cualquier caso, la crenulación asociada con la tercera fase tectónica es importante en los tramos pelíticos del núcleo de la antifirma, pero muy rara en los niveles cuarcíticos y calcosilicatados y en los flancos de aquélla.

12.4.4 - Fases tardías

De las fases tectónicas tardías, la más antigua e importante ha producido pliegues muy abiertos, dirigidos N 10°E a N 30°E de plano axial subvertical, que son casi normales a la dirección principal de esquistosidad (S2).

Otra de las fases tardías está relacionada con la formación de los dos sistemas de kink-bands, de dirección NE y subverticales, que ocasionalmente se observan en la zona.

12.5 - LOS YACIMIENTOS DE SCHEELITA

Los indicios y yacimientos de scheelita de la zona de Morille corresponden a dos tipos paragenéticos principales: el más antiguo tiene caracteres estratiformes, mientras que el más joven es claramente filoniano.

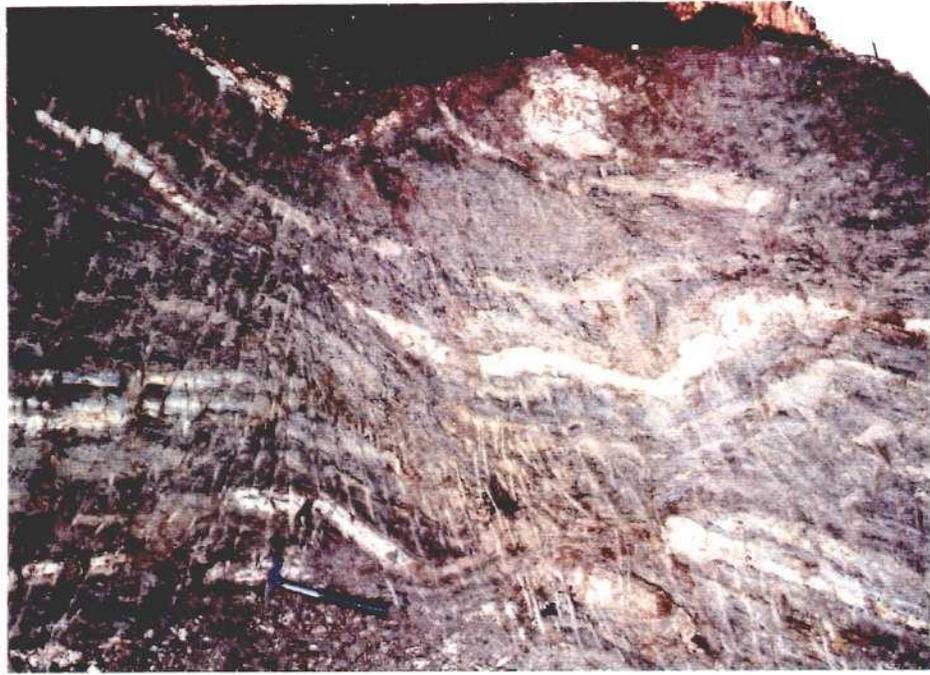


FIGURA 12.3- MINA MIMOSA, TERRUBIAS. SKARNOIDES BOUDINADOS POR LA SEGUNDA FASE Y PLEGADOS POR LA TERCERA.



FIGURA 12.4- MINA MIMOSA, TERRUBIAS. LOS NIVELES CALCO-SILICATADOS, BOUDINADOS DURANTE LA SEGUNDA FASE TECTONICA, PUEDEN MEDIR DESDE UNOS CENTIMETROS HASTA VARIOS METROS DE SECCION.

12.5.1 - Yacimientos estratiformes

La scheelita en rocas calcosilicatadas, aparece frecuentemente asociada a los esquistos cambro-ordovícicos de la región centro-occidental de España- Morille y Fregeneda, en la provincia de Salamanca, y Perales, en la de Cáceres-, mientras que en Portugal da lugar a yacimientos análogos en formaciones metamórficas atribuidas al Silúrico. De todas formas, un carácter común a todos los yacimientos ibéricos en rocas calcosilicatadas, es decir del tipo skarnoide, es que ellos se encuentran en formaciones paleozoicas que están afectadas por un metamorfismo de grado medio a alto, y rara vez en contacto directo con rocas intrusivas. Por ahora, sólo se puede decir que estos yacimientos parecen estar relacionados con la existencia de niveles calcosilicatados, cuarzo-micáceos y biotítico-feldespáticos, cuya potencia puede variar de unos centímetros a varios metros, y que están aislados o se repiten a pequeños intervalos en potentes formaciones de rocas pelíticas. En ocasiones, los sedimentos pueden haber tenido un lejano origen volcánico, y corresponder al metamorfismo de tobas de tipo dacítico.

De acuerdo con la composición mineralógica y textura de las rocas encajantes, se pueden distinguir en la antifirma de Martinamor tres tipos de mineralizaciones estratiformes de scheelita que están generalmente asociadas en el terreno.

El primer tipo está constituido por una roca de grano fino que tiene el aspecto de una cuarcita muy compacta de color gris claro y que aparece salpicada frecuentemente por pequeños cristales de color gris verdoso. La roca tiene textura granoblástica y está constituida esencialmente por cuarzo y feldespatos. Entre los minerales accesorios, los más importantes son: anfíboles fibrosos de la serie tremolita-actinolita, granates, clinozoisita, epidota, moscovita, biotita y clorita, y más raramente trazas de piritita y pirrotina. Estos niveles han sido frecuentemente boudinados, y la scheelita, cuya distribución es muy irregular, y los granates aparecen frecuentemente corroidos por el cuarzo y aplastados según la dirección de esquistosidad (S2). Entre los minerales accesorios, el apatito puede ser localmente muy abundante.

La composición química de estas rocas corresponde a la de una grauvaca, o a la de una roca piroclástica, en la que la scheelita parece haber cristalizado al mismo tiempo que los granates y ser, como éstos, un producto del metamorfismo regional.

El segundo tipo de mineralización estratiforme es característico de algunos yacimientos -por ejemplo, "Paquita III", en S. Tomé de Rozados; "Alegría", en Morille, y "Explotada", en Tornadizos- donde la scheelita se encuentra en niveles de textura granoblástica que están formados casi exclusivamente por plagioclasas y biotita, o por cuarzo, calcita y micas (Figs. 12.5 y 12.6). Estos minerales van acompañados, según los casos, por apatito -que a veces es muy abundante-, rutilo y turmalina, así como por muy pequeñas cantidades de

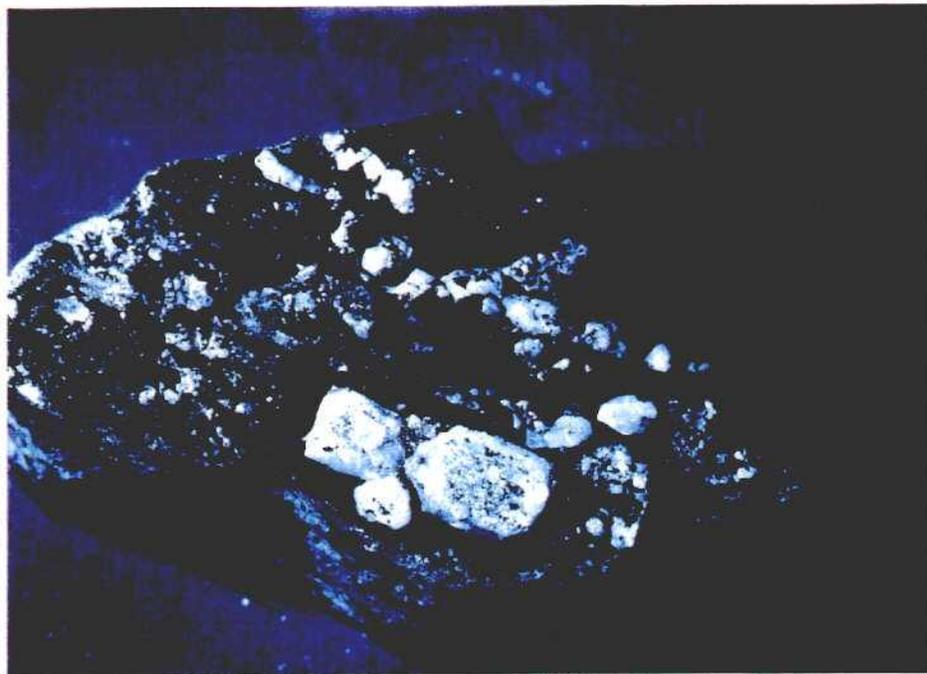


FIGURA 12.5 Y 6- MINA PAQUITA, S. TOME DE ROZADOS. LAS MINERALIZACIONES ESTRATOIDES DE LOS ESQUISTOS PUEDEN DAR LUGAR A NIVELES FORMADOS CASI EXCLUSIVAMENTE POR SCHEELITA, LA CUAL, TAL Y COMO SE OBSERVA CON LUZ U.V. EN SECCIONES PARALELAS A LA ESQUISTOSIDAD, ESTA COMPLETAMENTE RECRISTALIZADA.

pirita, pirrotina, arsenopirita e ilmenita, y trazas de molibdenita. Al igual que en el caso anterior, algunos de estos niveles han sido boudinados durante la segunda fase tectónica y, como se indicó en el caso de los skarnoides, adquirido una textura zonada. Sin embargo, la zonación se debe aquí a la recristalización de la scheelita durante la segunda fase de deformación, ya que ello dio lugar a la concentración de los minerales accesorios, especialmente el rutilo y circón, en el borde de los niveles wolframíferos.

El tercer tipo de yacimiento estratiforme está representado por los skarnoides, niveles calcosilicatados constituidos esencialmente por calcita; plagioclasas, más o menos sericitizadas y saussuritizadas; diópsido, frecuentemente uralitizado; grosularia e idocrasa, transformadas parcialmente en clinozoisita, zoisita, epidota y cuarzo; y anfiboles, pertenecientes tanto a la variedad fibrosa tremolita-actinolita como a la hornblenda pargasítica, la cual forma la zona externa de los niveles calcosilicatados (Figs. 12.7 y 12.8). Como minerales accesorios, el apatito, la esfena -algunas veces muy rica en estaño, de la variedad malayaita-, ortosa, ilmenita, piedmontita, y ocasionalmente escapolita, son los más importantes; la moscovita y la clorita están siempre presentes, siendo esta última un producto de alteración del diópsido y los granates, los cuales suelen ser anisótropos; y finalmente la scheelita, la cual puede estar diseminada en el núcleo de los niveles calcosilicatados o dispuesta alrededor de los granates. En algunas raras ocasiones, la scheelita va acompañada por trazas de powellitita, pirita, pirrotina, calcopirita y molibdenita.

12.5.2 - Yacimientos filonianos

Algunos de los yacimientos de scheelita de la antifirma de Martinamor -"Explotada", "Claudina", "Anarbellas" y "Paquita"- corresponden a filones de cuarzo que atraviesan las mineralizaciones estratiformes descritas en el apartado anterior, especialmente los niveles calcosilicatados -skarnoides y cuarcitas calcáreas-, con los que siempre están relacionados.

Las fracturas donde se localizan los filones mineralizados son de longitud variable -cuando cortas, de forma sigmoidal-, más o menos perpendiculares al plano de esquistosidad (S₂), y paralelas a las fracturas de tensión relacionadas con la tercera fase tectónica (Fig. 12.9).

La paragénesis de este tipo de yacimientos está constituida casi exclusivamente por cuarzo, albita, moscovita, berilo, apatito, calcita, scheelita, arsenopirita y turmalina, la cual puede ser chorlo o una variedad fibrosa de dravita, especialmente cuando los filones atraviesan niveles de rocas carbonatadas que son más o menos magnesianos.

En cualquier caso, entre las mineralizaciones filonianas y las estratiformes hay una relación evidente, ya que las primeras se han formado únicamente cuando los filones han atravesado rocas metamórficas que contenían previamente scheelita. Además, los filones se esterilizan y hacen exclusivamente cuarzosos cuando

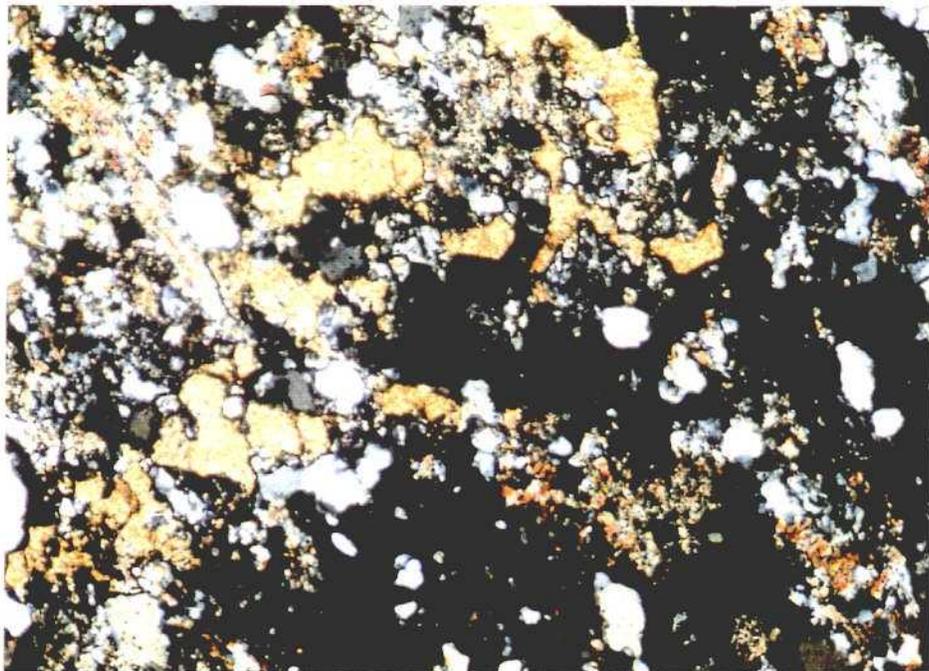
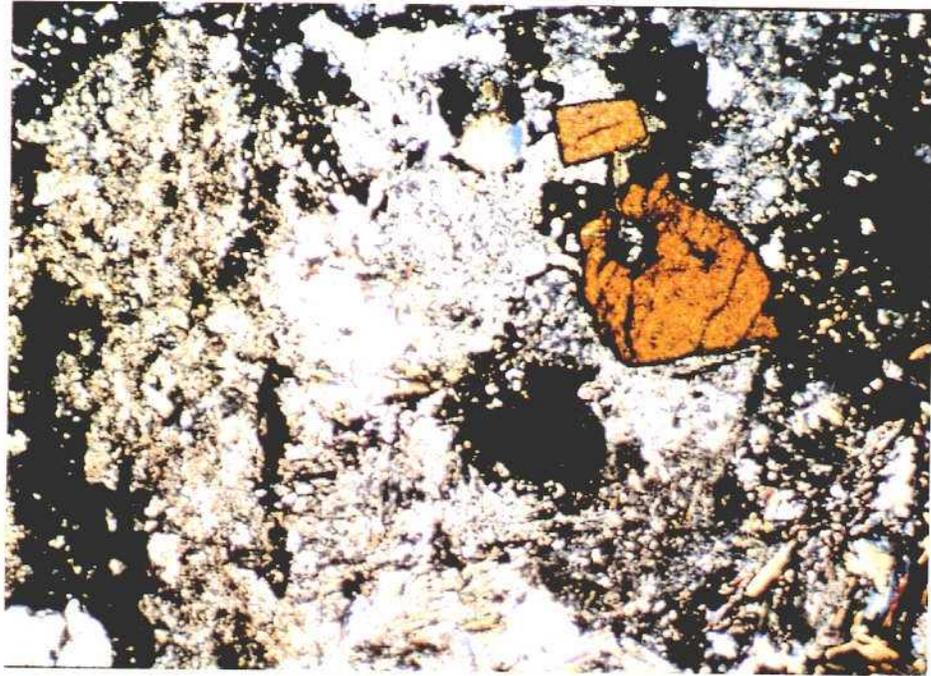


FIGURA 12.7 Y 8- MINA ALEGRIA, MORILLE. EL ÚNICO MINERAL DE LOS SKARNOIDES QUE NO SE ALTERA ES LA SCHEELITA, LA CUAL CONSERVA SU IDIOMORFISMO; EN CAMBIO, LAS PLAGIOCLASAS SUELEN ESTAR SERICITIZADAS Y SAUSSURITIZADAS. EL ALTO CONTENIDO EN Sn DE ALGUNOS SKARNOIDES - HASTA 800 ppm - SE DEBE A LA PRESENCIA DE MALAYAITA ENTRE LOS MINERALES ACCESORIOS.

penetran en las rocas pelíticas que alternan con los niveles calcosilicatados, lo que prueba que la scheelita de los filones -la cual puede llegar a formar concentraciones de hasta 30 Kg. de peso- se ha formado con el tungsteno y el calcio removilizados a partir de aquellos niveles (Fig. 12.9).

12.6 - ORIGEN DE LA MINERALIZACION.

Por lo que se refiere al origen de los yacimientos de tungsteno de la Serie de Morille, no existen en ésta granitos anteriores al Cámbrico - salvo, quizá, el ortogneis de San Pelayo - ni rocas claramente volcánicas o piroclásticas, aunque éstas estuvieran matamorfizadas, a las que poder atribuir el origen del tungsteno contenido en los esquistos.

En cualquier caso, es indudable que en algunos de los niveles calcosilicatados, cuarzo-micáceos y biotítico-feldespáticos de la Serie de Morille se produjo una concentración geoquímica de wolframio y estaño - ya fuera ésta de origen únicamente sedimentario o efectuada bajo la influencia de rocas ígneas -, análoga a la que, para el primer elemento, se conoce en algunos tipos de rocas sedimentarias. Posteriormente, como consecuencia de los procesos de recristalización, dichos elementos quedarían incorporados a las paragénesis metamórficas como scheelita y malayaita, respectivamente.

La scheelita puede llegar incluso a formar niveles casi puros en los esquistos biotítico-feldespáticos y cuarzo-micáceos. Niveles que, como los calcosilicatados, han sido plegados y boudinados (Figs.12.10 y 12.11) por la segunda fase tectónica - es decir, antes de que tuviera lugar el emplazamiento de los granitos albiticos de tipo Martinamor, que son los más abundantes en la antifforma -, y doblados por la tercera, al tiempo que los esquistos encajantes eran crenulados (Fig. 12.12).

Todo ello significa que las concentraciones de tungsteno existían ya antes de que se produjera la segunda fase de metamorfismo, y que la formación de la scheelita, incluida a veces dentro de los granates y deformada con ellos, tuvo lugar durante la primera fase tectónica, y se produjo al mismo tiempo que la de los otros minerales cálcicos de la roca.

En cuanto a los yacimientos filonianos asociados con la tercera fase de deformación, está claro que la scheelita se ha formado por removilización del tungsteno contenido en las rocas metamórficas, ya que dicho mineral aparece únicamente cuando los filones han atravesado esquistos que estaban previamente mineralizados.

En conclusión, y como hipótesis, se puede admitir que el tungsteno y el estaño de los indicios y yacimientos de la antifforma de Martinamor se concentraron originalmente en niveles preferenciales, bien definidos de una serie sedimentaria formada por pelitas carbonosas y rocas psamíticas de grano fino alternantes. Se observan en esta serie varios ciclos de

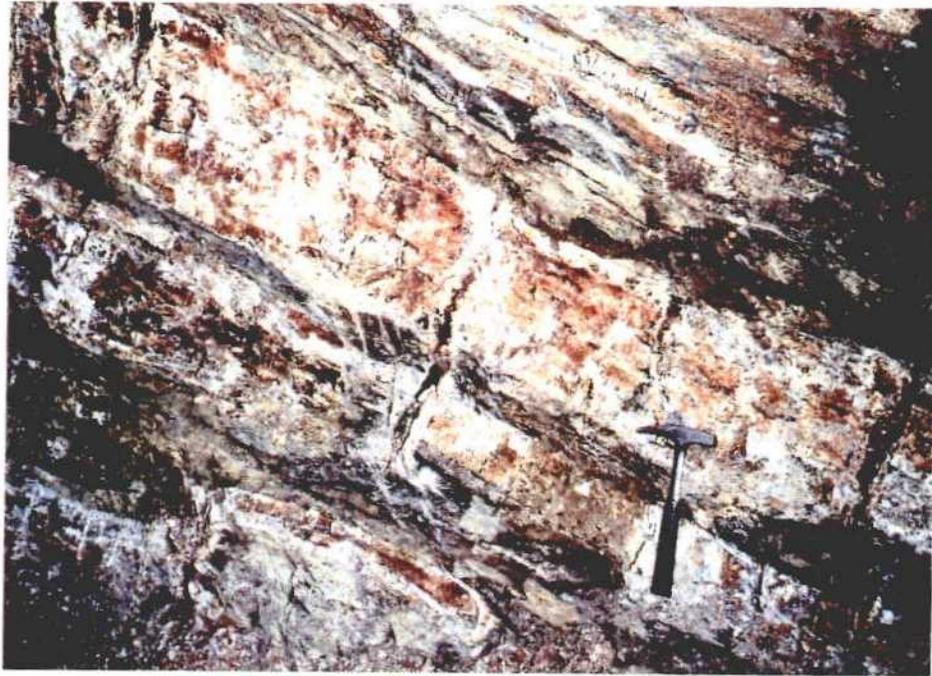


FIGURA 12.9- MINA EXPLOTADA, TORNADIZOS. ASPECTO DE LOS SCHARNOIDES EN SUPERFICIE, BOUDINADOS Y ZONADOS, QUE CONTIENEN LA MINERALIZACION. CUANDO LAS ROCAS CALCO-SILICATADAS ESTAN ATRAVESADAS POR FRACTURAS DE TENSION Y FILONES DE CUARZO DE SEGREGACION, LA SCHEELITA SE CONCENTRA TAMBIEN EN ESTAS ESTRUCTURAS.



FIGURA 12.12- MINA ALEGRIA, MORILLE. LOS NIVELES DE SCHEELITA BOUDINADOS Y REPLEGADOS DURANTE LA SEGUNDA FASE DE DEFORMACION, SUFRIERON, JUNTO CON LOS ESQUISTOS ENCAJANTES, LOS EFECTOS DE FRACTURACION Y ORENULACION DE LA TERCERA FASE DE DEFORMACION.



FIGURA 12.10 Y 11- MINA ALEGRIA, MORILLE. LOS NIVELES DE SCHEELITA INTERESTRATIFICADOS EN LOS ESQUISTOS FUERON SUCESIVAMENTE BOUDINADOS Y REPLEGADOS DURANTE LA SEGUNDA Y TERCERA FASES DE DEFORMACION. ESTOS NIVELES ESTÁN RODEADOS POR UN BORDE OSCURO FORMADO POR RUTILO, TURMALINA, CIRCON Y APATITO, LOS QUE FUERON DESPLAZADOS HACIA LOS BORDES AL RECRISTALIZAR LA SCHEELITA.

ETAPAS TECTONICAS	LITOLOGIA Y MINERALOGIA			METAMORFISMO	ROCAS ICHUAS	MINERALIZACIONES	YACIMIENTOS
	Locas Pelíticas	Locas cuarzo feldespáticas	Locas sílico-carbonatadas				
1ª FASE DE DEFORMACION Sedimentación (S ₀)							
1ª FASE DE DEFORMACION - Pliegues axiales de plano axial subverti- cal y dirección N 110° E - Esquistosidad de foli- jo (S ₁)	Cuarzo Biotita Muscovita Plagioclasas Almandino Estaurolita Sillimanita Scheelita	Cuarzo Biotita Muscovita Clorita Albita Climacita Scheelita	Calcita Diópsido Idocrasa Plagioclasas Ortoes Cronularia Escapolita Esfena Scheelita	SIN A POSTERUM - Metamorfismo progresado en las facies de las anfíbolitas almandino-piroxénicas	Craucio de San Pelayo 332-13 N.A. 87 g./86 gr = -0.723949	Scheelita, u otro mineral de V, en las rocas metamórficas	
2ª FASE DE DEFORMACION - Pliegues inclinados de plano axial subverti- zonal y dirección N 100° a 120° E. - Ejes b horizontales o con ligero buzamiento al O. - Esquistosidad de foli- jo (S ₂). - Boudinaje de los niveles cuarcíticos y calcosilicáticos (starmoides). Zona ción de estos últimos por difusión metamórfica	Cuarzo Biotita Muscovita Clorita Climacita Epidota Albita Scheelita	Cuarzo Biotita Muscovita Clorita Microclina Albita Climacita Scheelita	Calcita Hornblenda Actinolita Tremolita Zoisita Climacita Epidota Albita Piedmontita Esfena Malayaica Clorita Cuarzo Scheelita	SIN A POSTERUM - Metamorfismo restringido en las facies de los esquistos verdes; Almandino biotita + clorita + Cuarzo. Estaurolita → muscovita. Sillimanita y cordierita → muscovita + clorita. Cronularia → calcita + clorita + zoisita. Diópsido → actinolita + clorita + clinoclasita. Plagioclasa → sericita + clinoclasita + albita. Ilmenita → epidota + zoisita + cuarzo. Titanita → brucita + esfena.	Ortoes de San Pelayo (por deformación tectónica del Graucio).	Scheelita, r ₂ cristalizada y a veces boudinada, en rocas metamórficas	Alegria Hundaca Explozada Pequeña Mimosa Loferco San Pedro
3ª FASE DE DEFORMACION - Pliegues de plano axial subvertical y dirección N 110° E. - Esquistosidad de cremallera (S ₃) en los niveles pelíticos, y flexión de los boudins de la segunda fase. - Desarrollo de la antiforma de Martínamor					Leucogranitos albiticos tipo Martínamor y granatos con turmalina 316-5 N.A. 87 g./86 gr = 0.719868	Scheelita, en fracturas de tenebrón en rocas calcosilicadas, con cuarzo, albita, apatito, berilo, turmalina (chigi- lo y dravita), arsenopirita, filonita, rutilo, calcita, wollita, pirita, calcopirita, vrotina y molibdenita.	Alegria Pequeña Mimosa Explozada Clawina Marballas Berilo, pirita y -
- Cizallamiento del ortogres y los leucogranitos de Martínamor					Craucio de Santa Camovera. 298-29 N.A. 87 g./86 gr = 0.720021. Diques aplícos y pegmatitas	Scheelita en filones de cuarzo intragránulosos (tipo Barruzada) y entre graníticos (tipo S. Pelayo)	S. Camovera (cuatro cal- zadas S. Pelayo)
FASES TARDIAS - Pliegues abiertos de plano axial subverti- cal y dirección N 10° a 30° E. - Esquistosidad de frenta (S ₄). - Kink-bands de dirección NE y subvertica- les							

TABLA 12.1- EVOLUCION TECTONICA, METAMORFICA Y METALOGENICA DE LOS YACIMIENTOS DE TUNGSTENO DE LA ANTIFORMA DE MARTINAMOR. (SALAMANCA).

sedimentación siliciclástica, dominados por condiciones euxínicas, que tuvieron lugar probablemente en el borde de una plataforma continental o en un mar epicontinental.

En estas condiciones, el estaño y wolframio que se depositaron con los sedimentos cristalizaron, como scheelita y malayaita, al tiempo que lo hacían los otros minerales, es decir, durante el metamorfismo regional que siguió a la primera fase de deformación.

Posteriormente, durante la segunda fase tectónica, los niveles calcosilicatados, cuarzo-micáceos y biotítico-feldespáticos fueron plegados y boudinados. Este proceso precedió a la formación de los filones de cuarzo que ocuparon las fracturas de tensión de la tercera fase tectónica y que cuando atravesaron niveles previamente mineralizados con scheelita, produjeron las concentraciones filonianas de este mineral que también son objeto de explotación.

Finalmente, la anatexia mesocrustal, al afectar a formaciones que contenían niveles mineralizados, dió lugar a una removilización del tungsteno durante los procesos tardíos de granitización y a la aparición de mineralizaciones filonianas intrabatolíticas que, como las del granito de Santa Genoveva, pertenecientes ya al tipo Barruecopardo, no fueron afectadas por las deformaciones tectónicas principales.

Esta hipótesis genética se puede aplicar a otros indicios estratiformes de tungsteno existentes en ciertas áreas metamórficas de las provincias de León, Salamanca (Fregeneda) y Cáceres (Perales), en las que existen también niveles calcosilicatados análogos a los que se acaban de describir, que han sido atravesados por leucogranitos hercínicos tardíos de dos micas, y que, como en el caso de Santa Genoveva, contienen también mineralizaciones filonianas intragraníticas de scheelita. Este es el caso de los yacimientos de Barruecopardo, en Salamanca, y La Lapa, en Cáceres.

REFERENCIAS

ARRIBAS, A., 1979a: Les gisements de tungstène de la zone de Morille (province de Salamanca, Espagne.) Chron. Rech. Min. 450. pp. 27-34.

ARRIBAS, A., 1979b: Les gisements de tungstène de Barruecopardo. Chron. Rech. Min. 450. pp. 42-49.

ARRIBAS ROSADO, A., 1983: Geología y metalogénia del yacimiento Virgen de la Encina, Ponferrada, (León). Tecniterrae, 56, pp. 36-75.

BEZIAT, P. y TOLLON, F., 1976: La scheelite dans le Midi de la France: le probleme des concentrations de tungstène dans les strates. Mem. H. Ser. Soc. Geol. France, 7, pp.49-56.

BOYER, F., y ROUTHIER, P., 1974: Extension régionale de couches à scheelite dans le couverturé métamorphique de la zone axial en Montagne Noire (Hérault, France). C.R. Ac.Sc., t. 279, Paris.

BRIGO, I., y FRIZZO, P., 1976: Manifestazioni a scheelite nel massiccio cristallino dell'Argentera (Alpi Maritime). Boll.Soc.Geol It., 95, pp.1127-1136.

BRODTKORB, B.K., y BRODTKORB, A., 1977: Stratabound Scheelite Deposits in the Precambrian Basement of San Luis (Argentina). In "Time and Stratabound Ore Deposits" Klemm y Schneider, Springer, pp.141-149.

BURCHARD, U., 1977: Genesis of the King Island (Tasmania) Scheelite Mine. In "Time and Stratabound Ore Deposits", Klemm y Schneider, Springer, pp.199-204.

CUNNINGHAM, W. B.; HOLL, R. y TAUPITZ, K.C., 1973: Two new tungsten-bearing horizons in the older Precambrian of Rhodesia. Min. Dep., 8, pp. 200-203.

GALIBERT, F., ARRIBAS-ROSADO, A., ARRIBAS, M. et BRIQUEU, L., 1986: Géochimie et Géochronologie du complexe granitique minéralisé en tungstène de Morille (Salamanque-Espagne). 11 Réunion Scien. de la Terre, Soc. Géol. France, Clermont-Ferrand.

HOLL, R., 1977: Early paleozoic ore deposits of the Sb-W-Hg Formation in the Eastern Alps and their genetic interpretation. In "Time and stratabound ore deposits" Klemm y Schneider, Springer.

JEFFREY, P. G., 1959: Geochemistry of tungsten with special reference to the rocks of Uganda Protectorate. Geochem. Cosmoch. Acta, 16, pp. 278-295.

KERRICK, D.M., 1977: The genesis of zoned skarns i the Sierra Nevada, California. Jour.of Petrol., 18, pp. 144-181.

NORONHA, F., 1976: Niveaux a scheelite dans la zone tungstifère de Borralha. Leur importance métallogénique. Pub. Mus. Lab. Fac. Cienc. Porto, 87, 4, pp. 7-15.

SKAARUP, P., 1974: Stratabound scheelite mineralization in skarn and gneisses from the Bindal area, Northern Norway. Min. Dep., 9, pp 299-308.

THADEU, D., 1973: Le gisements stanno-wolframitiques du Portugal. Ann. Soc. Géol. Belg., 96, pp. 5-30.

THOMPSON, A. B., 1975: Calc-silicate diffusion zones between marble and pelitic schist. Jour. of Petrol., 16, pp. 314-346.

CAPITULO - 13 -GRAVIMETRIA EN LA ZONA DE MORILLE - MARTINAMOR

Ignacio Arbe, y Juan Luis Plata. (ITGE)

13.1 - INTRODUCCION Y LOCALIZACION

En el ITGE y dentro del Servicio de Geofísica, se ha llevado a cabo la cobertura gravimétrica de varias áreas del oeste de la Península Ibérica, dentro de este proyecto de cooperación multidisciplinar cofinanciado por la CEE.

Este capítulo corresponde a la gravimetría realizada en la zona Sur de la provincia de Salamanca (Zona de Morille y Martinamor).

El objetivo de esta gravimetría se centró en aquellos aspectos estructurales, tales como lineamientos y estructuras mayores.

Geográficamente, la zona de estudio se sitúa en la provincia de Salamanca, y comprende una franja de 40.5 Km de largo por 19 Km de ancho. Está delimitada por las siguientes coordenadas UTM:

	X	Y	
A	252000	4529000	
B	293000	4529000	
C	252000	4510000	
D	293000	4510000	(Fig.13.1).

ocupando parcialmente las Hojas del M.T.N. a escala 1/50.000: 477, 478, 479, 502, 503 y 504.

13.2 - GRAVIMETRIA

13.2.1 - Mediciones en campo.

Las mediciones en campo se realizaron entre los meses de Enero a Marzo de 1989, con un total de 386 estaciones.

Para trabajar con valores absolutos de la gravedad se tomó la base de Salamanca (BF Salamanca-B , ISGN-71). El valor asignado por el I.G.N. a esta base es de $G=980046.62$ mGal.

Control de las mediciones y cálculos.

Antes de iniciarse la campaña y durante la realización de la misma se hicieron las revisiones necesarias al gravímetro.

CONTROL DE DERIVA SECULAR BASE IGN - SALAMANCA

GRAVIMETRO LACOSTE-ROMBERG MODELO G-582
 DERIVA MEDIA DE TRABAJO 0.008 mGal/hora
 DERIVA SECULAR MEDIA 0.042 mGal/dia

240

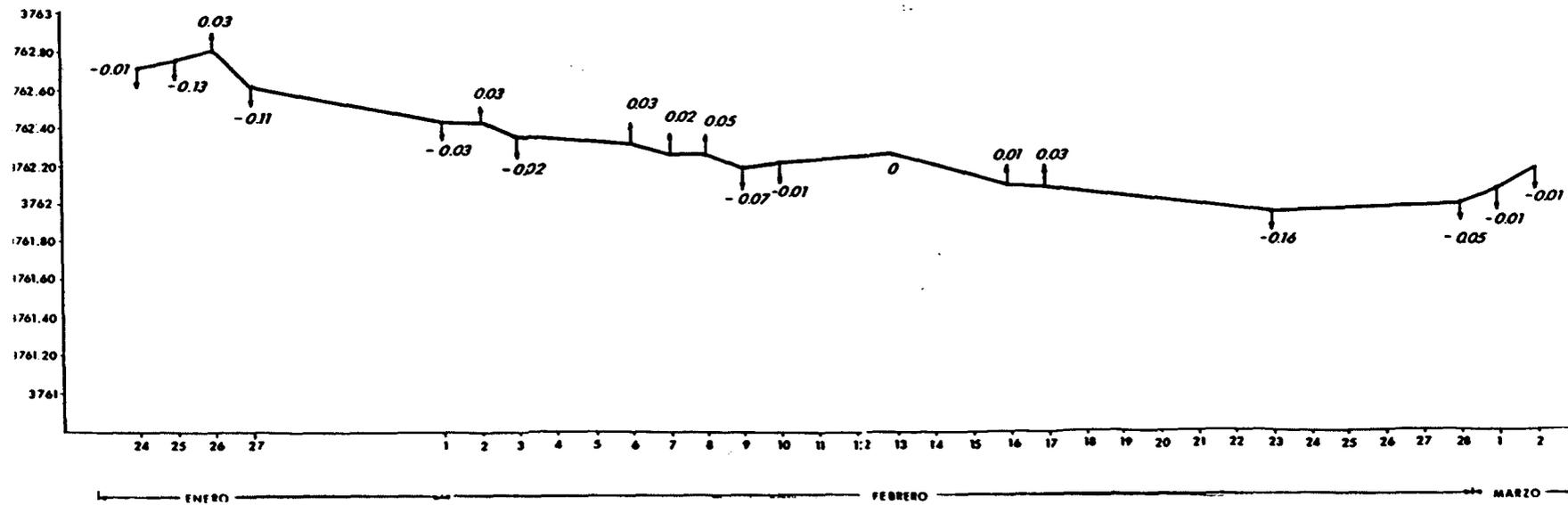


FIGURA 13.2- GRAFICO DE DERIVA SECULAR

Tanto el valor medio de las derivas de los programas (0.008 mGal por hora) como el error medio cometido en las lecturas (0.027 mGal) obtenido mediante la semidiferencia entre las lecturas repetidas, pueden considerarse válidos. (Fig.13.3).

En el cálculo de la gravedad medida se ha tenido en cuenta la corrección lunisolar. El valor de esta corrección se ha obtenido por cálculo, mediante el programa PRETIL, con una apreciación de 0.005 mGal.

13.2.3 - Cálculo de la anomalía de Bouguer.

Para la obtención de la anomalía de Bouguer se ha seguido la norma UNE 22611 (1985) relativa a trabajos geofísicos de gravimetría.

Cálculos

En la determinación de la anomalía de Bouguer, se han incluido las siguientes correcciones y cálculos:

gravedad normal

Los valores de la gravedad normal dados por la ecuación:
 $g_0 = g_p(1 + A \sin^2\phi - B \sin^2 2\phi)$ dependen de los adoptados como datum y del geoide de referencia. El sistema empleado fué el del año 1967.

Elipsoide internacional

a= 6378160

b= 6356774.5161

c= 1/298.25

datum postdam = 981260 mGal

gp= 978031.8 mGal

$$g_0 = 978031.85 (1 + 0.005278895 \sin^2\phi - 0.000023462 \sin^4\phi)$$

expresada en mGal, siendo ϕ la latitud.

Cálculo del efecto topográfico

La corrección topográfica ha sido realizada según el método de Hammer, siguiendo el modo operativo descrito en 1939 (Geophysics IV, pp184).

Para el cálculo de la influencia topográfica total se ha subdividido la corrección en las siguientes zonas:

- Corrección topográfica proxima: hasta 170 m, engloba las coronas B, C y D. Se estima en campo punto por punto, al mismo tiempo que la medida con el gravímetro.

- Corrección topográfica media: desde 170 m hasta 4470 m, abarca las coronas E, F, G, H, e I y se estima sobre planos a escala 1/50.000 punto por punto.

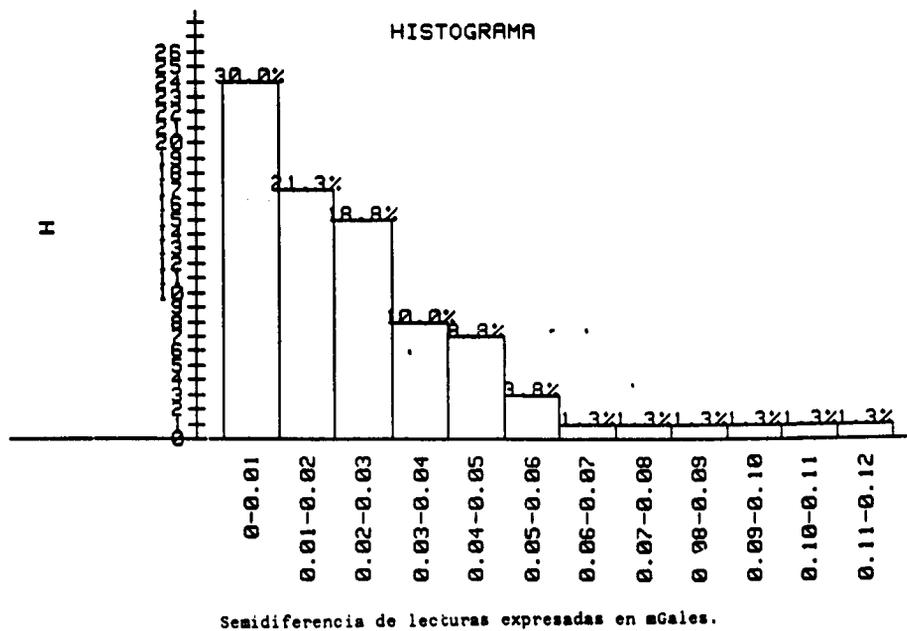


FIGURA 13.3- HISTOGRAMA DE REPETICIONES DE LECTURAS DEL GRAVIMETRO

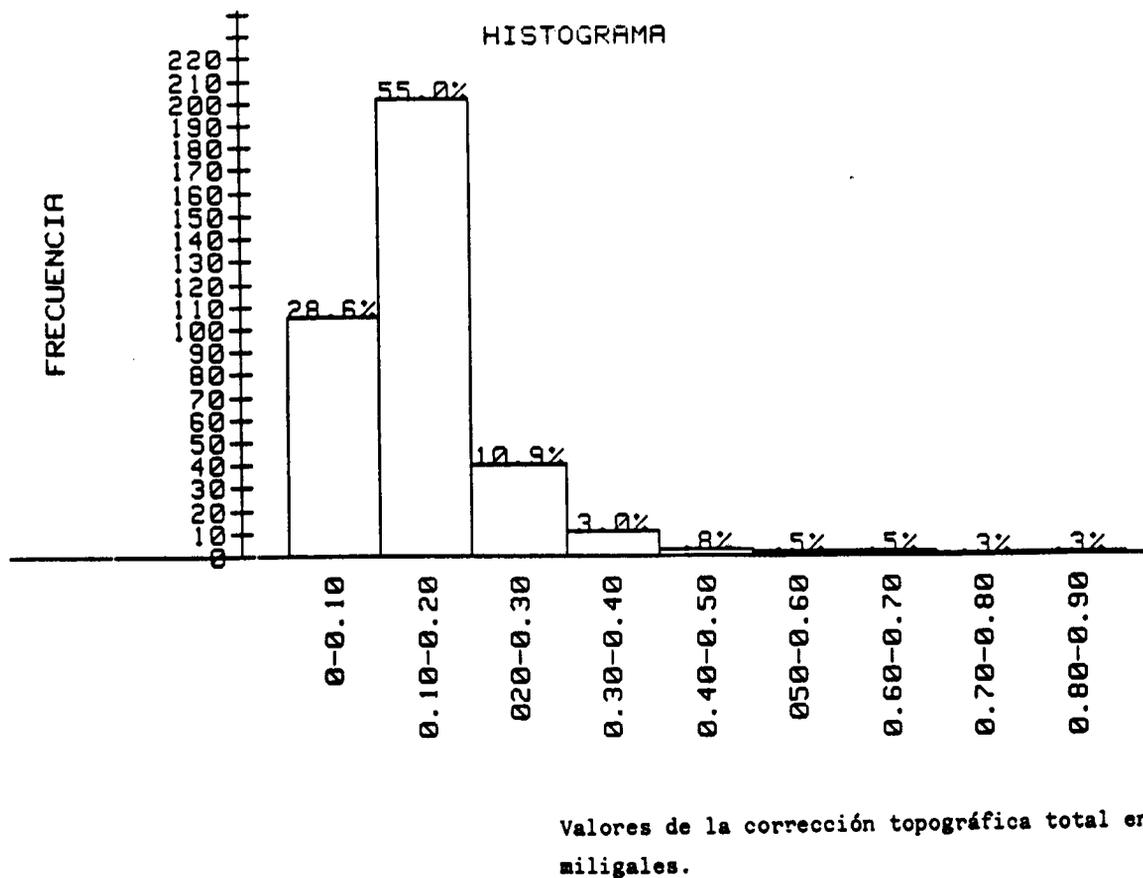


FIGURA 13.4- HISTOGRAMA DE REPETICIONES DE LOS VALORES DE LA CORRECCION TOPOGRAFICA TOTAL.

- Corrección topográfica lejana: se refiere a las coronas J, K, L y M, y abarca una zona desde los 4470 m hasta 21944 m de radio. Esta corrección se realizó por el método de interpolación de Neuman (1963), sobre planos a escala 1/200.000 a partir de los datos en malla (9x5) de 5000 m de paso y origen U.T.M. X= 250000; Y=4510000.

En cuanto al control de la ejecución de la corrección topográfica media y lejana se ha llevado a cabo por repeticiones.

Para la corrección topográfica lejana se ha realizado la repetición del 11% de las estaciones. Se han tomado como admisibles unas diferencias en las repeticiones de un 10-15%.

Siendo: $E\% = \text{error medio calculado} = (CT1-CT2/CT2)*100$

El error medio calculado fué de 9.8% . El error calculado como la media de las semidiferencias entre las correcciones fué de $E = \pm 0.109 \text{ cmGal}$.

En cuanto a la corrección topográfica media , de la misma forma una vez repetidas 40 estaciones (10.4% del total), el error medio calculado fué de $E=8.7\%$ y como media de la semidiferencia $E= \pm 0.262 \text{ cmGal}$.

Si consideramos la corrección topográfica total, se puede dibujar un histograma que represente los valores de dicha corrección (Fig.13.4).

El cálculo de la anomalía de Bouguer se realizó según la expresión :

$$A = G - (gN - Z (F - B*D) - T)$$

Siendo:

A - anomalía de Bouguer; G - gravedad observada corregida del efecto lunisolar y de deriva instrumental; gN - gravedad normal; F - coeficiente de Fayé; B - coeficiente de Bouguer; D - densidad de reducción; Z - altitud; T - corrección topográfica total.

El factor de conversión C, para paso a otra densidad de reducción se obtiene mediante la fórmula, $C= 0.8384 Z - T$ y la anomalía de Bouguer en otra densidad distinta a 2 gr/cc es:

$$A1 = A - ((d - 2) / 2) * C.$$

Se presenta el Mapa de Anomalías de Bouguer a escala 1/50.000 calculado con una densidad de reducción de 2.67 gr/cc (Fig. 13.5). Se sumaron a todos los valores de la anomalía 100 mGal con el fin de trabajar con números positivos.

INDICE DE FIGURAS

(VOL.2) - AREA DE MINA FE (CIUDAD RODRIGO).

- FIGURA 1.1-** Esquema geológico del área de Ciudad Rodrigo
- FIGURA 1.2-** Estratigrafía y situación de las mineralizaciones de Uranio en Ciudad Rodrigo.
- FIGURA 1.3-** Estratigrafía de detalle del GEG en el área de Ciudad Rodrigo.
- FIGURA 1.4-** principales fracturas en el área de Mina Fé.
- FIGURA 1.5-** Principales áreas uraníferas de la Península Ibérica.
- FIGURA 1.6-** Recursos de Uranio españoles "in situ".
- FIGURA 1.7-** Esquema geológico y situación de indicios y yacimientos de Uranio en el área de Ciudad Rodrigo.
- FIGURA 1.8-** Distribución de la mineralización de Uranio en Mina Fe, a partir de datos de sondeos.
- FIGURA 1.9-** Asociación mineral y relaciones isotópicas (dátaciones) sobre la Pechblenda en Mina Fe.
- FIGURA 2.1-** Lineaments mapped from Landsat TM imagery in the Mina Fe area, Salamanca Province, Spain.
- FIGURA 2.2-** Rose diagram of Landsat TM lineaments.
- FIGURA 2.3-** Rose diagrams of sub-areas of Landsat lineament interpretation.
- FIGURA 2.4-** (top) Small lineament map to which all subsequent computer drawn figures relate; (bottom) Landsat TM lineament density ($\text{Km}^{-1} \times 100$); data sampled over 3x3 Km moving average grid.
- FIGURA 2.5-** Directional density (top) and dominance (bottom) of NNE-SSW ($175-035^\circ$) Landsat lineaments.
- FIGURA 2.6-** Directional density (top) and dominance (bottom) of NE-SW ($035-095^\circ$) Landsat lineaments.
- FIGURA 2.7-** Directional density (top) and dominance (bottom) of NW-SE ($095-175^\circ$) Landsat lineaments.
- FIGURA 2.8-** Air photograph lineaments, compiled from data by ENUSA, covering 1:50.000 sheets 525 (Ciudad Rodrigo) and 500 (Villar del Ciervo).
- FIGURA 2.9-** Rose diagram of lineaments from air photographs.

- FIGURA 2.10-** (top) Small map of air photograph lineaments to which all subsequent computer drawn figures relate; (bottom) Air photograph lineament density ($\text{km}^{-1} \times 100$); data sampled over 3x3 Km moving average grid.
- FIGURA 2.11-** Directional density (top) and dominance (bottom) of NNE-SSW ($175\text{-}035^\circ$) air photograph lineaments.
- FIGURA 2.12-** Directional density (top) and dominance (bottom) of NE-SW ($035\text{-}095^\circ$) air photograph lineaments.
- FIGURA 2.13-** Directional density (top) and dominance (bottom) of NW-SE ($095\text{-}175^\circ$) air photograph lineaments.
- FIGURA 2.14-** Stereogram (a) and rose diagram (b) of faults at Mina Fe.
- FIGURA 3.1-** Espectros gamma normalizados del Uranio 238, Torio 232 y Potasio 40.
- FIGURA 3.2-** Espectrometría aerea - Uranio e. -
- FIGURA 3.3-** Espectrometría aerea - Torio e.-
- FIGURA 3.4-** Espectrometría aerea - Potasio e. -
- FIGURA 3.5-** Espectrometría aerea - Campo magnético total. -
- FIGURA 3.6-** Espectrometría aerea - Gradiente magnético vertical.
- FIGURA 4.1-** Situación de estaciones de toma de datos de fracturas y diagrama en rosa general. Mina Fe.
- FIGURA 4.2-** Estructuración de la zona en bloques, por las fracturas principales de dirección WSW-ENE. Alrededores de la Mina Fe.
- FIGURA 4.3-** Diagrama general de contornos y análisis Eigen de las fracturas de Mina Fe.
- FIGURA 4.4-** Fallas de extensión, $N50^\circ E/60^\circ N$ (A) estación 3 y $N90^\circ E/60^\circ N$ (B) estación 4, Corta Fe.
- FIGURA 4.5-** Cinemática de una falla $N140^\circ E$ mediante estudio de estrias.
- FIGURA 4.6-** Cinemática de la Falla Grafitosa (Estación 8, Mina Fe).
- FIGURA 4.7-** Zona de dilatación rellena con carbonatos en off-set dextro de una fractura $N60^\circ E$. Estación 2, Corta Fe.
- FIGURA 4.8-** Detalle de los carbonatos (Anquerita) desarrollados en zona de dilatación.
- FIGURA 4.9-** Etapas de brechificación y reactivaciones de una falla $N110^\circ E$. Estación 5, Corta Fe.

- FIGURA 4.10-** Boudinage en venas de cuarzo.
- FIGURA 4.11-** Estrias 60-140 en venas de cuarzo con sulfuros, de dirección N30°E/64°E. Estación 6, Corta Fe.
- FIGURA 4.12-** Sistema de fallas tardías conjugadas N60°E (dextra) y N110°E (sinistra). Estación 3, Corta Fe.
- FIGURA 5.1-** Mapa geológico del área situada al oeste de Mina Fe (Ciudad Rodrigo).
- FIGURA 5.2-** Imagen Landsat TM745 del área de Mina Fe.
- FIGURA 5.3-** Cociente TM4/3 área de Mina Fe.
- FIGURA 5.4-** Imagen Landsat PC312 del área de Mina Fe.
- FIGURA 5.5-** Imagen Landsat PC2 georreferenciada con superposición de las clases correspondientes a suelos abiertos.
- FIGURA 5.6-** Mapa geológico del área de Mina Fe con superposición de la clase A correspondiente a suelos derivados de rocas metasedimentarias y ubicación de las muestras de roca.
- FIGURA 5.7-** Imagen PC2 del sector de Gallegos de Argañan con superposición de tres clases (A,B,C) de suelos abiertos.
- FIGURA 5.8-** Mapa geológico del sector de Gallegos de Argañan con superposición de tres clases (A,B,C) de suelos abiertos.
- FIGURA 5.9-** Imagen PC2 del sector de Barquilla con superposición de tres clases (A,B,C) de suelos abiertos.
- FIGURA 5.10-** Mapa geológico del sector de Barquilla con superposición de tres clases (A,B,C) de suelos abiertos.
- FIGURA 6.1-** Situación general de la zona de trabajo en Mina Fe (Ciudad Rodrigo - Salamanca).
- FIGURA 6.2-** Situación y topografía de los puntos realizados por E.N.U.S.A.
- FIGURA 6.3-** Descripción de la Base -B1-.
- FIGURA 6.4-** Descripción de la Base -B3-.
- FIGURA 6.5-** Descripción de la Base Fundamental de Salamanca.
- FIGURA 6.6-** Esquema de enlaces de bases gravimétricas.
- FIGURA 6.7A-** Mapa de anomalías de Bouguer con diferenciación de las tres zonas anómalas.
- FIGURA 6.7B-** Mapa de anomalías de Bouguer obtenido en S.I.G.
- FIGURA 6.7C-** Correlación entre el mapa de anomalías de Bouguer y la cartografía geológica del área.

- FIGURA 6.7D-** Correlación entre la geología regional y el área cubierta mediante gravimetría (S.I.G.).
- FIGURA A1-** Mapa de integración de datos de la zona de Gallegos de Argañan.
- FIGURA 7.1-** Cartografía geológica de detalle de los alrededores de la Mina Fe.
- FIGURA 7.2-** Geofísica heliportada. Campo magnético total.
- FIGURA 7.3-** Geofísica heliportada. Gradiente magnético vertical.
- FIGURA 7.4-** Geofísica heliportada. Resistividad aparente - Dispositivo coplanar. Frecuencia 32000 Hz.
- FIGURA 7.5-** Geofísica heliportada. Resistividad aparente. Dispositivo coaxial. Frecuencia 4600 Hz.
- FIGURA 7.6-** Geofísica heliportada. V.L.F. Campo total.
- FIGURA 7.7-** Geofísica terrestre. Isolneas de resistividad (calicatas electricas).
- FIGURA 8.1-** Muestras de superficie. Contenidos medios en los diferentes elementos analizados, desviaciones, valores máximos y mínimos.
- FIGURA 8.2-** Muestras de superficie. Matriz de correlación de los elementos analizados.
- FIGURA 8.3-** Muestras de superficie. Analisis factorial.
- FIGURA 8.4-** Muestras de superficie. diagrama binario y recta de regresión del U total y el C org.
- FIGURA 8.5-** Muestras de superficie. Litologías de caracter ampelítico. Contenidos medios en los elementos analizados.
- FIGURA 8.6-** Muestras de superficie. Litologías de caracter ampelítico. Matriz de correlación.
- FIGURA 8.7-** Muestras de superficie. Litologias de caracter ampelítico. Analisis factorial.
- FIGURA 8.8-** Muestras de superficie. Litologias de caracter ampelítico. Diagrama binario U total - C org. Y recta de regresión.
- FIGURA 8.9-** Muestras de superficie. Litologias de caracter ampelítico. Histograma de frecuencias del Ln del U total.
- FIGURA 8.10-** Sondeos de la zona de Marialba. Contenidos medios en los elementos analizados.
- FIGURA 8.11-** Sondeos de la zona de Marialba. Matriz de correlación.

- FIGURA 8.12-** Sondeos de la zona de Marialba. Análisis factorial.
- FIGURA 8.13-** Sondeos de la zona de Marialba. diagramas binarios: A) Total y B) cortes. U total<30 y C org.<1.
- FIGURA 8.14-** Sondeos de la zona de Marialba. Muestras ampelíticas. Estadística y matriz de correlación.
- FIGURA 8.15-** Sondeos de la zona de Marialba. Muestras ampelíticas. Estadística y matriz de correlación. Cortes U total<30 Y C org.<1.
- FIGURA 8.16-** Sondeos de la zona de Marialba. Muestras ampelíticas. Cortes U total<30 y C org.<1. Analisis factorial.
- FIGURA 8.17-** Sondeos de la zona de Marialba. Muestras ampelíticas. Cortes U total<30 Y C org.<1. Diagrama binario U total-C org.
- FIGURA 8.18-** Sondeos entorno Mina Fe. Estadística, matriz de correlación y diagrama binario U total-C org.
- FIGURA 8.19-** Sondeos entorno Mina Fe. Analisis factorial.
- FIGURA 8.20-** Sondeos entorno Mina Fe. Diagrama binario Utotal-Corg. a)Población total y b)cortes U total<17 Y C org>0.25.
- FIGURA 8.21-** Sondeos entorno Mina Fe. Sin sondeo 8E,24S. Estadística y matriz de correlación.
- FIGURA 8.22-** Sondeos entorno Mina Fe. Sin sondeo 8E,24S. Análisis factorial.
- FIGURA 8.23-** Sondeos entorno Mina Fe. Sin sondeo 8E,34S. Diagrama binario U total-C org. Histograma logaritmico U total.
- FIGURA 8.24-** Sondeos entorno Mina Fe. Sin sondeo 8E,34S. Análisis factorial, diagrama binario U total - C org.
- FIGURA 8.25-** Situación de muestras de litogeoquímica en el sondeo 8E,34S - Zona D.
- FIGURA 8.26-** Estadística por perfiles.
- FIGURA 9.1-** Paragenetic sequence of mineral deposition (modified after Arribas, 1985)
- FIGURA 9.2-** Map of the Mine showing main structural features and location of samples referred to in tables (adapted from Bello et al.,1988)
- FIGURA 9.3-** Variation of stable isotope composition of carbonate gangue minerals and pyrite from Fe ore deposit.

- FIGURA 9.4a-** Corta Fe 3. Las fracturas mineralizadas, en las cuales suelen formarse abundantes minerales secundarios de Uranio, afectan a una serie sedimentaria fundamentalmente pelítica y pelítico-carbonosa en la que, localmente se encuentran estructuras sedimentarias que pueden pertenecer a turbiditas de reflujo relacionadas con tempestitas.
- FIGURA 9.4b-** Corta Fe 3. Fracturas mineralizadas. Aunque las zonas brechificadas pueden llegar a tener varios metros de potencia, los minerales de Uranio se concentran dentro de fracturas que miden normalmente de unos milímetros a varios centímetros de anchura.
- FIGURA 9.4c-** Corta Fe 1, Banco 639. Los minerales primarios de Uranio se concentran unicamente en estructuras abiertas de las brechas, algunas de las cuales pueden llegar a tener varios decímetros de potencia.
- FIGURA 9.4d-** Corta Fe 3. Brecha de cuarzo filoniano Hercínico rellena por carbonatos de dos venidas sucesivas: Arriba, cristales de Ankerita fibrorradiada depositados a más de 200°C; en el centro, sedimento formado por carbonatos rojos (Hematites), grises (pirita) y blancos (Calcita pura), depositados a menos de 70°C y en condiciones casi superficiales sobre la Pechblendita (negro) que se ve en la parte inferior de la fotografía.
- FIGURA 9.4e-** Corta Fe 3. Las tres generaciones de carbonatos filonianos. los primeros, bien cristalizados, son amarillentos y ricos en hierro ; los intermedios, crustiformes, son rosaceos y ricos en manganeso ; los últimos, finamente laminados, se depositaron por gravedad y a baja temperatura en los huecos de los anteriores.
- FIGURA 9.4f-** Corta Fe 3, 1/2x. Durante las etapas finales del proceso mineralizador, los carbonatos, sulfuros de hierro y oxidos de uranio se depositaron como sedimentos finamente laminados.
- FIGURA 9.5a-** Corta Fe 3, 1/2x. La laminación cruzada de bajo angulo que presentan los carbonatos, pirita y pechblendita tardios, revela la intensa actividad cinemática de los fluidos.
- FIGURA 9.5b-** Corta Fe 3, 1/2x. Texturas geopetales en los minerales que se depositaron en los huecos de las brechas, en un ambiente superficial y a baja temperatura, como sedimentos laminados.
- FIGURA 9.5c-** Corta Fe 3, 1/2x. Los fragmentos de los sulfuros de hierro de la primera fase hidrotermal, frecuentemente brechificados y rodeados por la pechblendita y coffinita de la posterior venidaauranifera, muestran una característica orientación como consecuencia del fuerte arrastre al que fueron sometidos por las soluciones mineralizadoras.

- FIGURA 9.5d-** Durante las últimas etapas del procesomineralizador los carbonatos formaron estructuras estalactíticas.
- FIGURA 9.5e-** Los fragmentos clásticos de las brechas mineralizadas pueden pertenecer a los esquistos encajantes y estar parcialmente cloritizados y hematizados, y los huecos finalmente rellenos por carbonatos estalactíticos.
- FIGURA 9.5f-** En algunas ocasiones los fragmentos están imbricados, lo que indicaría la dirección de flujo del fluido mineralizador.
- FIGURA 10.1-** Esquema geológico-estructural. Area de Azere.
- FIGURA 10.2-** Esquema geológico-estructural. Area de Nisa.
- FIGURA 10.3-** Aereorradiometría. Zona de Azere.
- FIGURA 10.4-** Aeromagnetometría. Zona de Azere.
- FIGURA 10.5-** Aeromagnetometría. Zona de Nisa.
- FIGURA 10.6-** Radiometría terrestre. Zona de Azere.
- FIGURA 10.7-** Radiometría terrestre. Zona de Nisa.
- FIGURA 11.1-** Lineaments mapped from Landsat Tm imagery in the Nisa area, Portugal; inset is rose diagram of lineament trends.
- FIGURA 11.2-** Rose diagrams of sub-areas of Landsat lineament interpretation.
- FIGURA 11.3-** Fractures measured in Nisa Granite.
- FIGURA 11.4-** Comparison of ground fracture pattern in sub-areas of the Nisa / Alburquerque Batholith.
- FIGURA 11.5-** Mapped and air photograph lineaments, compiled from data by ENU, covering the SW quadrant of the Nisa 1:50.000 sheet.
- FIGURA 11.6-** Rose diagrams to compare a) Landsat TM lineaments, b) Mapped and air photograph lineaments and c) ground fracture measurements in the Nisa area.
- FIGURA 11.7-** (top)-Small TM lineament map to which all subsequent computer drawn figures relate; (bottom) Landsat TM lineament density ($\text{Km}^{-1} \times 100$); data sampled over 3x3 Km moving average grid.
- FIGURA 11.8-** Directional density (top) and dominance (bottom) of NW-SE (090-150°) Landsat lineaments.
- FIGURA 11.9-** Directional density (top) and dominance (bottom) of N-S (150-030°) Landsat lineaments.

FIGURA 11.10- Directional density (top) and dominance (bottom) of NE-SW (030-090°) Landsat lineaments.

FIGURA 12.1- Mina Alegria. Aspecto de la lineación producida por la intersección de S0 y S1 alabeada por un pliegue de segunda fase tectónica.

FIGURA 12.2- Mina Alegria. Pliegues de segunda fase, de plano axial subhorizontal, en los cloritoesquistos de la serie de Morille.

FIGURA 12.3- Mina Mimosa, Terrubias. Skarnoides boudinados por la segunda fase y plegados por la tercera.

FIGURA 12.4- Mina Mimosa, Terrubias. Los niveles calcosilicatados, boudinados durante la segunda fase tectónica, pueden medir desde unos centímetros hasta varios metros de sección.

FIGURA 12.5 y 6- Mina Paquita, S. Tome De Rodazos. Las mineralizaciones estratoides de los esquistos pueden dar lugar a niveles formados casi exclusivamente por sheelita, la cual, tal y como se observa con luz U.V. en secciones paralelas a la esquistosidad, esta completamente recristalizada.

FIGURA 12.7 y 8- Mina Alegria, Morille. El unico mineral de los skarnoides que no se altera es la sheelita, la cual conserva su idiomorfismo; en cambio, las plagioclasas suelen estar sericitizadas y saussuritizadas. El alto contenido en Sn de algunos skarnoides - hasta 800 ppm - se debe a la presencia de malayaita entre los minerales accesorios.

FIGURA 12.9- Mina Explotada, Tornadizos. Aspecto de los skarnoides en superficie, boudinados y zonados, que contienen la mineralización. Cuando las rocas calcosilicatadas están atravesadas por fracturas de tensión y filones de cuarzo de segregación, la sheelita se concentra también en estas estructuras.

FIGURA 12.10 y 11- Mina Alegria, Morille. Los niveles de sheelita interestratificados en los esquistos fueron sucesivamente boudinados y replegados durante la segunda y tercera fases de deformación. Estos niveles están rodeados por un borde oscuro formado por rutilo, turmalina, circon y apatito, los que fueron desplazados hacia los bordes al recristalizar la sheelita.

FIGURA 12.12- Mina Alegria, Morille. Los niveles de sheelita boudinados y replegados durante la segunda fase de deformación, sufrieron, junto con los esquistos encajantes, los efectos de fracturación y crenulación de la tercera fase de deformación.

FIGURA 12.13- Mapa geológico del área de Morille-Martinamor.

FIGURA 13.1- Localización de área cubierta por gravimetría en Morille - Martinamor.

FIGURA 13.2- Grafico de deriva secular.

FIGURA 13.3- Histograma de repeticiones de lecturas del gravímetro.

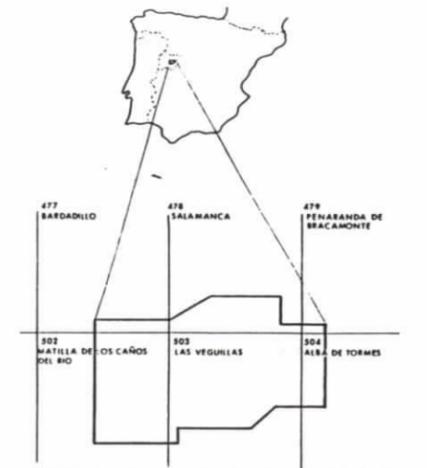
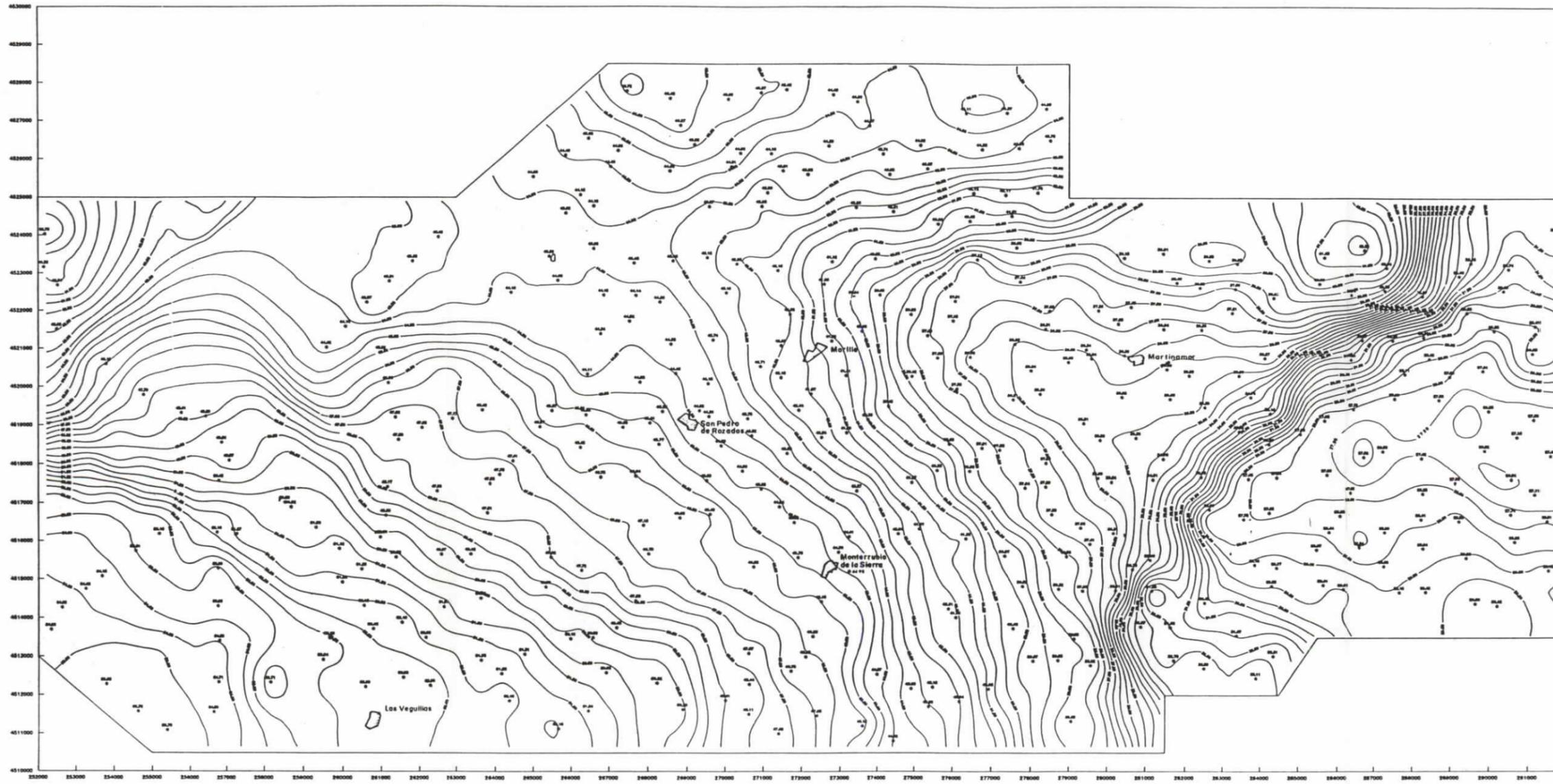
FIGURA 13.4- Histograma de repeticiones de los valores de la corrección topográfica total.

FIGURA 13.5- Mapa de anomalías de Bouguer - Zona de Morille - Martinamor.

INDICE DE TABLAS

- TABLA 1.1-** Composición química media. Elementos mayores.
- TABLA 1.2-** Yacimientos del área de Ciudad Rodrigo.
- TABLA 1.3-** Mineralizaciones en granitos.
- TABLA 2.1-** Summary of TM lineaments, Mina Fe area, Salamanca Province, Spain.
- TABLA 2.2-** Summary of lineaments determined from air photographs by ENUSA in the Mina Fe area, Spain.
- TABLA 2.3-** Summary of the fault set sampled in ground surveys in the Mina Fe mine.
- TABLA 5.1-** Valores estadísticos de las clases correspondientes a suelos abiertos que aparecen en la figura 5.3.
- TABLA 9.1-** Stable isotope analyses of carbonates and sulfides, Fe Mine.
- TABLE 11.1-** Summary of Tm lineaments, Nisa Area, Portugal.
- TABLE 11.2-** Summary of fracture sets sampled in ground surveys in the Nisa Batholith.
- TABLE 11.3-** Summary of lineaments determined from air photograph and ground mapping by ENU in the Nisa area, Portugal.
- TABLA 12.1-** Evolución tectónica, metamórfica y metalogénica de los yacimientos de Tungsteno de la Antiforma de Martinamor (Salamanca).

MAPA DE ANOMALIAS DE BOUGER



Distribución del área en relación con las hojas E: 50.000 del M.T.N.

LEYENDA
 SISTEMA DE REFERENCIA: IGSN 71
 GRAVEDAD NORMAL: Sistema Geodésico de Referencia del año 1967
 FORMULA: $G_N = 978.03185 (1 + 0.005278895 \cos^2 \lambda + 0.00023442 \cos^4 \lambda) - G_{alt}$
 ANOMALIA DE BOUGUER: $A = G - (G_N - 1) \cdot 10^{-8}$
 λ - COEFICIENTE DE PATE = 0.30854 mGal
 σ - COEFICIENTE DE BOUGUER = 0.4192 $\frac{mGal}{m}$
 DENSIDAD DE REDUCCION EMPLEADA: 2.67 gr/cm^3
 CORRECCION TOPOGRAFICA HASTA 220m

SIMBOLOS
 — EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS 0.5 mGal
 * ESTACION GRAVIMETRICA
 COORDENADAS UTM
 NOTA: Valores aumentados en 100 mGal

Instituto Tecnológico Geológico de España

PROYECTO:	APOYO GEOFISICO A INVESTIGACIONES MUJERAS (ZONA DE SALAMANCA)	CLAVE:	
MAPA DE ANOMALIAS DE BOUGUER		PLANTA:	1
DEJADO (Asesorado):	FECHA:	COMPROBADO:	AUTOR:
J. & Heras	Marzo '88	Ignacio Arba	Javier Pizarro
ESCALA:		CONDUCTOR:	
1:50.000			

FIGURA 13.5- MAPA DE ANOMALIAS DE BOUGUER. ZONA DE MORILLE - MARTINAMOR.

FIGURA 12.13- MAPA GEOLOGICO DEL AREA DE MORILLE-MARTINAMOR.



LEYENDA

— Elevación
 — Anillo
 — Sirena

— Faja
 — Camino
 — Mina

CUATERNARIO	4	Aluvial y depósitos coluviales
MIOCENO	3	Areniscas, arcillas, conglomerados
PALEOCENO	2	Areniscas y conglomerados
PALEOZOICO	1	Esquistos y cuarcitas
SERIE DE ALKATELADA	1	Esquistos y gneissos de anfíbolas, granofelso, silicofelso, serpentinas
SERIE DE MORILLE	1	A: rocas intrusivas (sismadas) B: conglomerados (sedimentos perforados) C: cuarcitas

ROCAS IGNEAS

2	Diques de cuarzo
Pg	Diques pegmatíticos

1	Granodioritas
2	Granito de Santa Gertrudis
3	Granito de Martínamor
4	Orthogneiss de San Pedro

TECTONICAS

1	Brachis de falla
---	------------------

