

**Departament de Cristal·lografia,
Mineralogia i Dipòsits Minerals.**

**GEOLOGIA I METAL·LOGENIA DEL
CONTACTE SUD DEL GRANIT
D'ANDORRA (PIRINEU CENTRAL).**

Albert SOLER i GIL

Gener 1990

Foto 8.2.7.- Veta de wollastonita (W), amb una primera zona de idocrasa marró reemplaçant a la idocrasa verda.

Foto 8.2.8.- Alternança rítmica de wollastonita (W) i idocrasa marró (Id)..

Foto 8.2.9.- Calcita de color blau intersticial (Cc) de la idocrasa marró de la zona del mateix nom.

Foto 8.2.10.- Cristalls idiomòrfics d'idocrasa marró (Id), amb calcita blava intersticial.

Foto 8.2.11.- Remplaçament de la idocrasa marró (Id) per grossulària (skarn Sk-449).

Foto 8.2.12.- Hedenbergita de l'endoskarn Sk-449, observis el caracter intersticial de l'hedenbergita.

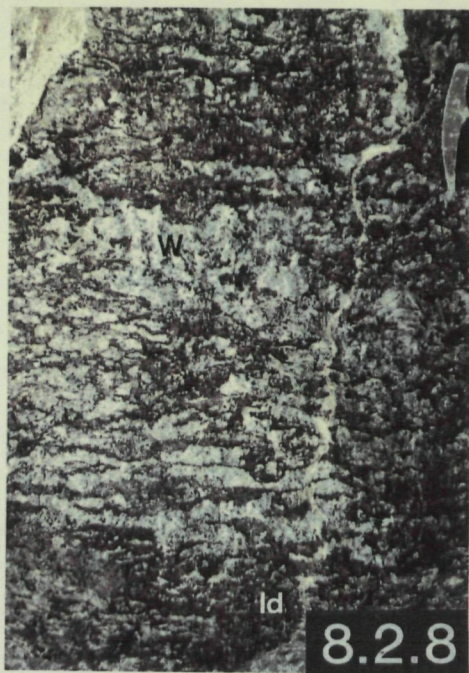
Foto 8.2.13.- Hedenbergita de l'endoskarn Sk-449, observis el caracter intersticial de l'hedenbergita (h).

Foto 8.2.14.- Contacte endoskarn i exoskarn, observis l'agrupació de l'hedenbergita (Hd) en el contacte amb la idocrasa marró (Id).

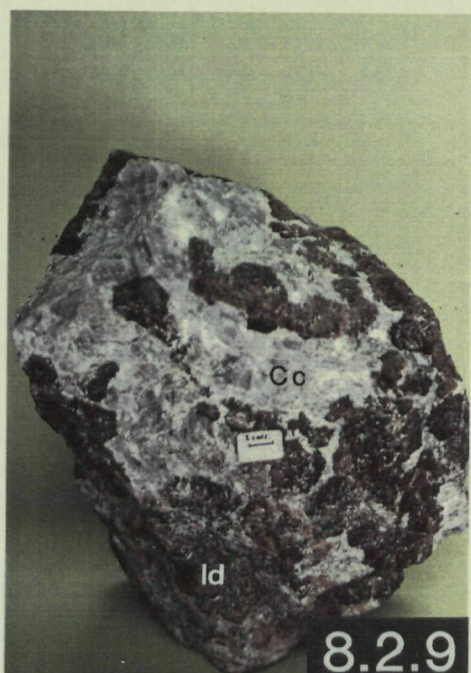
Foto 8.2.15.- Contacte endoskarn-exoskarn, observeu el creixement (en el sector senyalat amb "*") de cristalls d'hedenbergita perpendicularment al contacte intrusiu.



8.2.7



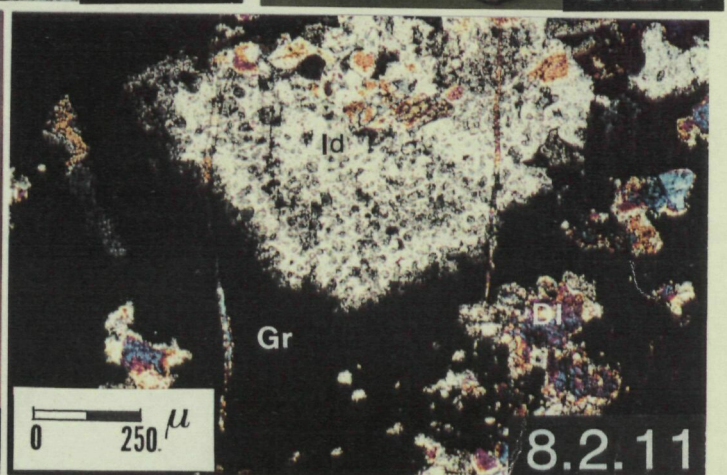
8.2.8



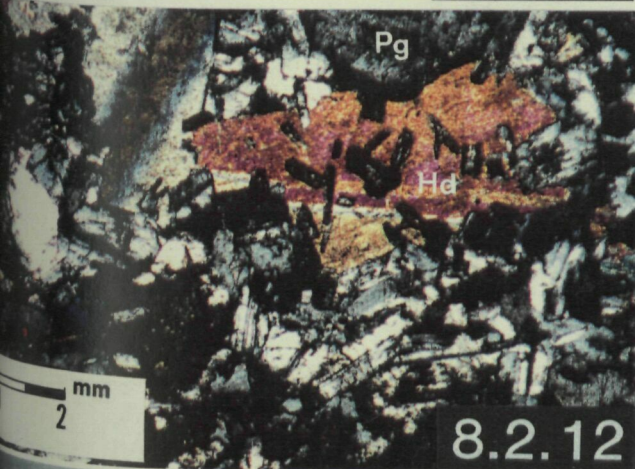
8.2.9



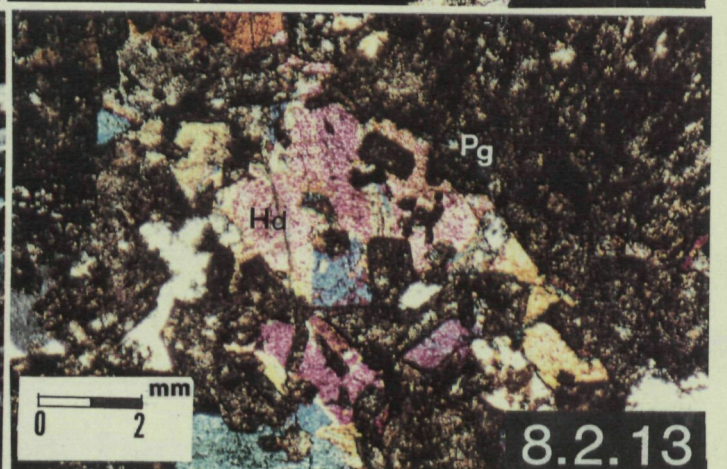
8.2.10



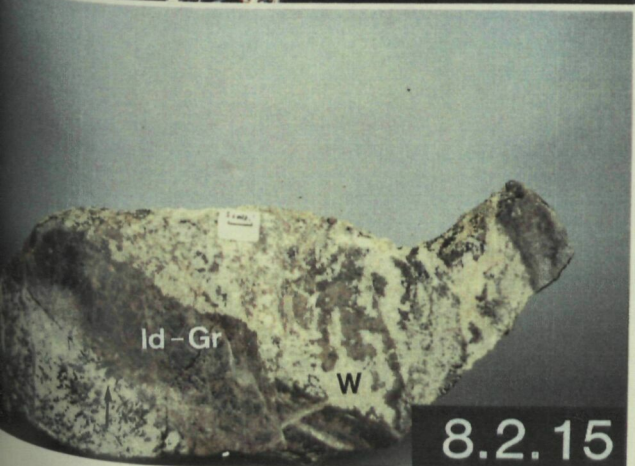
8.2.11



8.2.12



8.2.13



8.2.15



8.2.14

**8.3.- SKARNS DE WOLLASTONITA -
IDOCRASA - HEDENBERGITA
MINERALITZATS EN SCHEELITA.**

8.3.-SKARNS DE WOLLASTONITA - IDOCRASA - HEDENBERGITA MINERALITZATS EN SCHEELITA.

Han estat trobats tres skarns d'aquests tipus a l'àrea d'estudi (Sk-414, Sk-404 i Sk-171), tots ells es situen en el sector de Sta. Llogaia (Fig. 8.3.1).

8.3.1.- CARACTERITZACIO MORFOLOGIA I ESTRUCTURAL.

El skarn Sk-404 és el més interessant des de un punt de vista econòmic, aquest consisteix en un skarn massís amb minerals de mida de gra molt petita la qual cosa dificulta llur estudi. D'altra banda el skarn Sk-171, es troba afectat per nombroses fractures associades a la falla del pont d'Ardaix. Per aquest motiu hem decidit estudiar en detall el skarn Sk-414 que malgrat presentar poca entitat i un interès econòmic petit, presenta una zona de skarn massís poc desenvolupada que no ha arribat a obliterated la columna metasomàtica.

El skarn Sk-414 (Skarn de Sta. Llogaia) és situa a la comarca de l'Alt Urgell i concretament al terme municipal de Musser. Aflora a la pista forestal que va des d'Aristot a Sta. Llogaia, al vessant sud del mirador de Llès (Fig. 8.3.1).

El skarn es desenvolupa en el mateix contacte intrusiu entre la granodiorita i els carbonats de la formació Rueda, en el contacte hi ha una fàcies leucogranítica (Fig. 8.3.2). L'aflorament dels materials devonians presenta morfologia de xenolit, afectat pel costat oest per la falla del Pont d'Ardaix (Fig. 8.3.3 i 8.3.4). Aquest contacte és en general paral·lel a la estratificació dels materials devonians. El skarn és desenvolupa en una situació en la que el contacte intrusiu talla a la superfície d'estratificació dels carbonats (Fig.8.3.2).

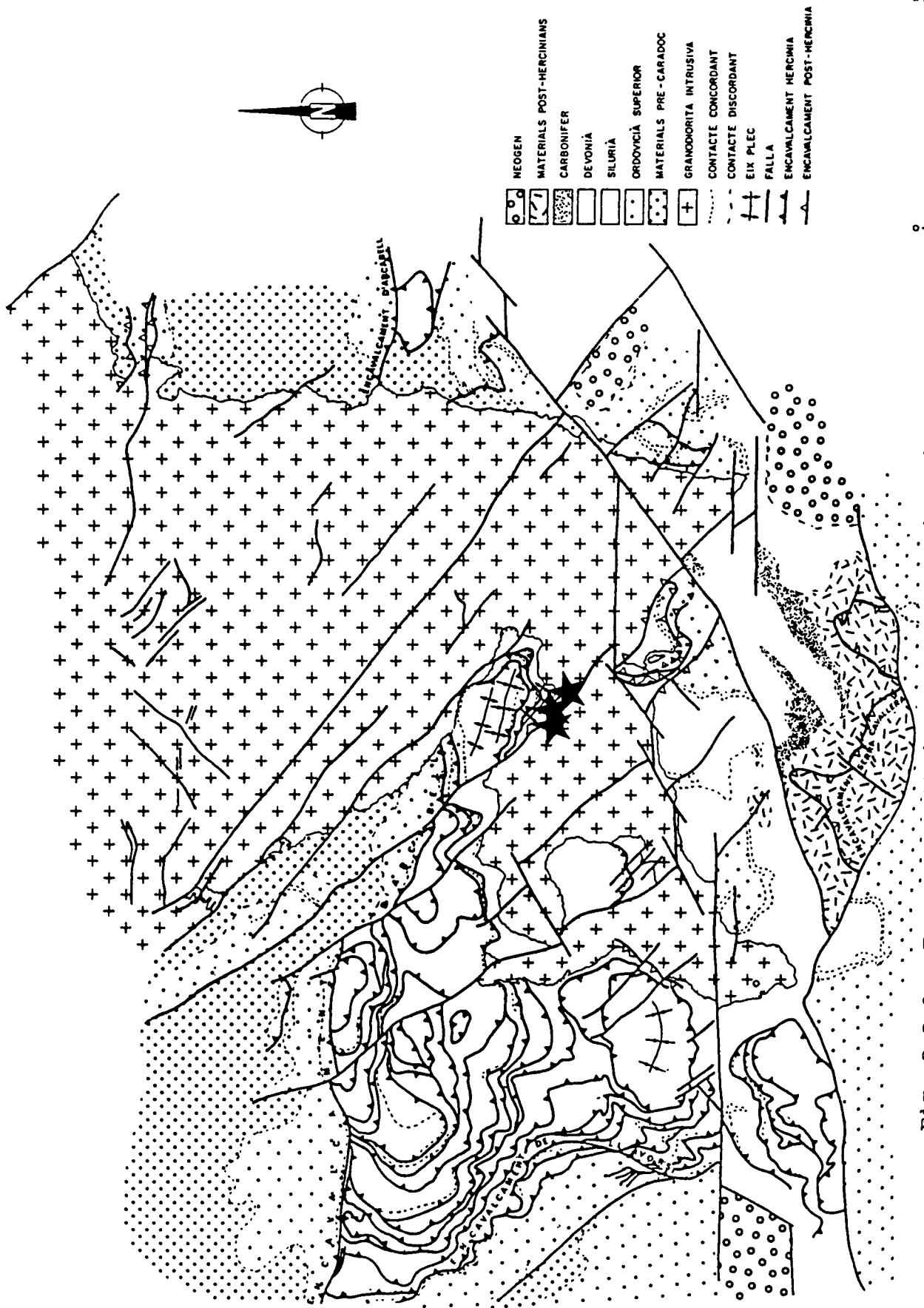


Fig. 8.3.1.- Esquema geologic mostrant la situació dels eixos d'edacra-wollastonita mineralitzats en scheelita.

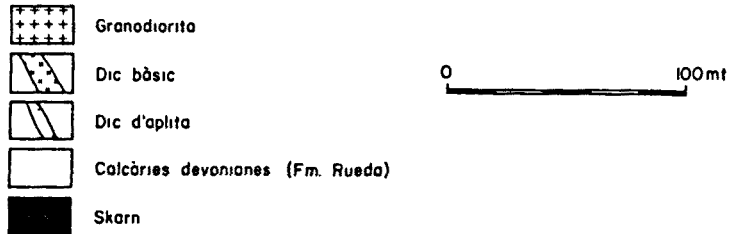
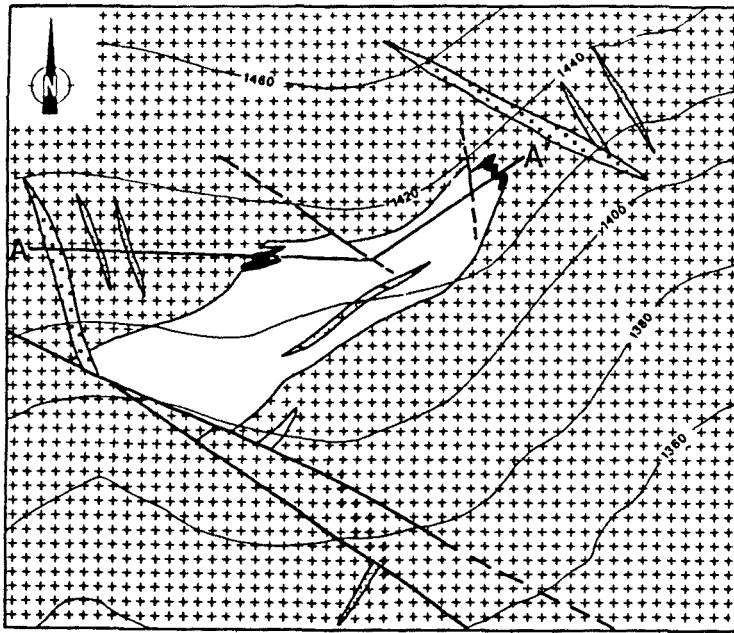


Fig. 8.3.3.- Mapa geològic de les rodalies del skarn de Sta. Llogaia (Sk-414). Observeu la morfologia de xenolít de l'aflorament de carbonats.

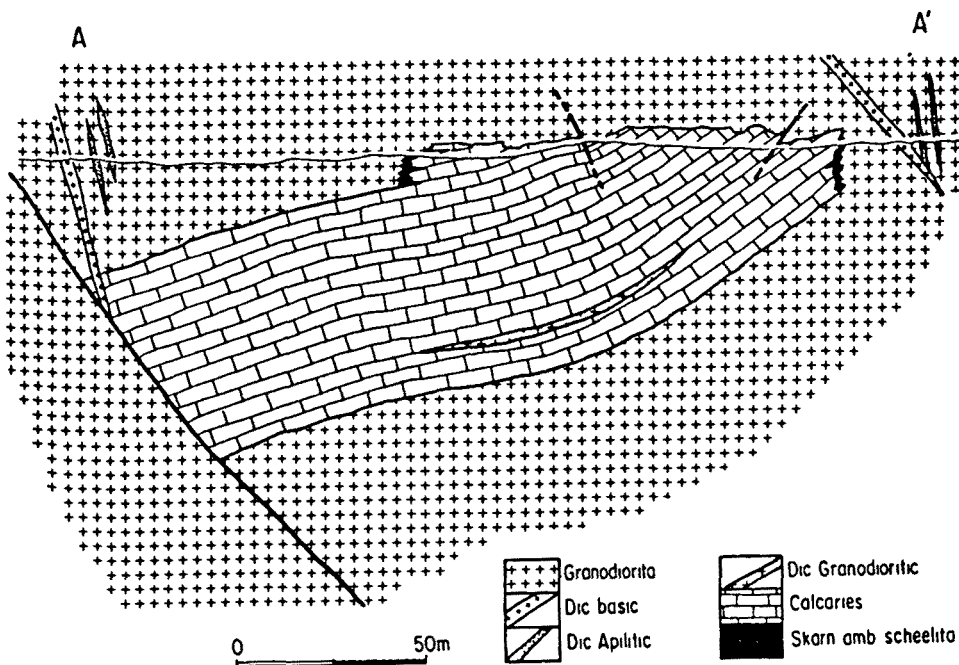


Fig. 8.3.4.- Tall geològic de les rodalies del skarn de Sta. Llogaia. Observeu la morfologia de xenolít dels carbonats. La situació del tall es troba a la Fig. 8.3.3.

8.3.2.- CARACTERITZACIO MINERALOGICA.

Al skarn hom pot diferenciar dues parts, una part més interna que anomenarem skarn massís i una segona més externa que anomenarem skarn bandat.

EL SKARN BANDAT.

El skarn bandat és caracteritza per vetes desenvolupades segons les juntes d'estratificació dels marbres, aquestes vetes presenten una clara zonació metasomàtica desenvolupada perpendicularment a les juntes d'estratificació, amb zones que és replacen succesivament: carbonat - zona de la wollastonita - zona de la idocrasa - zona del granat - zona de l'hedenbergita - centre veta.

La zona de la wollastonita.

Aquesta zona és de mida mil.li a centimètrica, constituïda per agregats radials de wollastonita crescuts perpendicularment a la veta calcosilicatada. Sovint la wollastonita es troba associada a una idocrasa de color vert (Fotos 8.3.1 i 8.3.2). Aquesta zona no sempre es present, ja que localment pot ser totalment reemplaçada pel front de la idocrasa.

La zona de la idocrasa.

Aquesta zona de mida centimètrica és constituïda exclusivament per cristalls idiomòrfics d'idocrasa que mostren una zonació molt marcada pels colors de birrefringència que varien de gris de 1er ordre en el nucli a blau berli anòmal , a marró anòmal a la vora (Foto 8.3.3). Les anàlisis a la microsonda mostren una disminució del contingut en Ti i un augment del Al cap a la vora del cristall (Foto 8.3.4). Sovint les vores d'aquestes idocrases arriben a ser isòtropes.

Sainsbury i reed (1973); Taylor, 1978; Dadak i Novak, 1965; McIver i Hihalic, 1975; Van Marcke, 1983). Localment a l'interior del granat més andraditic s'ha observat la transformació de l'hedenbergita en andradita, aquesta transformació té lloc a partir dels plans d'exfoliació del piroxè i es palesa per la presència d'esquelets d'hedenbergita a l'interior de l'andradita (Foto 8.3.10).

Amb un caràcter més tardà que el granat, en el skarn massís es troba una paragènesi de quars + calcita + actinolita. Aquesta es caracteritza per la presència de nombroses agulles d'actinolita incloses en el quars i la calcita, així com per la retrogradació de l'hedenbergita. Associada a aquesta paragènesi és troba una segona scheelita, de mida de gra més grollera i fluorescència blava, així com calcopirita i pirrotina (Foto 8.3.11 i 8.3.12). Localment s'ha observat clorita associada a la paragènesi de quars + calcita + actinolita. En el endoskarn ha estat observada la transformació de l'ilmenita en esfèn i rútil. A la Fig 8.3.6 es mostra la seqüència mineral.

El skarn Sk-404, presenta unes característiques mineralogiques i texturals molt assemblades a la part del skarn massís Sk-414. A diferència d'aquest, el skarn Sk-404 i el Sk-171, presenten esfalerita, galena i la mineralització associada a una paragènesi de quars + calcita + epidota + clorita. A la Fig. 8.3.8 es pot observar un esquema en planta del skarn Sk-404 amb les diferents àrees mineralitzades.

8.3.3.-GEOQUIMICA.

L'estudi geoquímic del skarn ens permetra posar de manifest l'importància de la composició original del substracte sobre el que es desenvolupa el skarn, així

Deer (1962) relaciona l'isotropia anòmala d'algunes idocrases amb el contingut en OH.

La zona del Granat.

Es constituïda per cristalls hipi a al.lotriomòrfics de granat, aquests remplaceu clarament a la idocrasa (Fig. 8.3.5). Aquests granats mostren una zonació composicional que oscil.la entre Gr_{40} - And_{60} i Gr_{60} - And_{40} (Fig. 8.3.12).

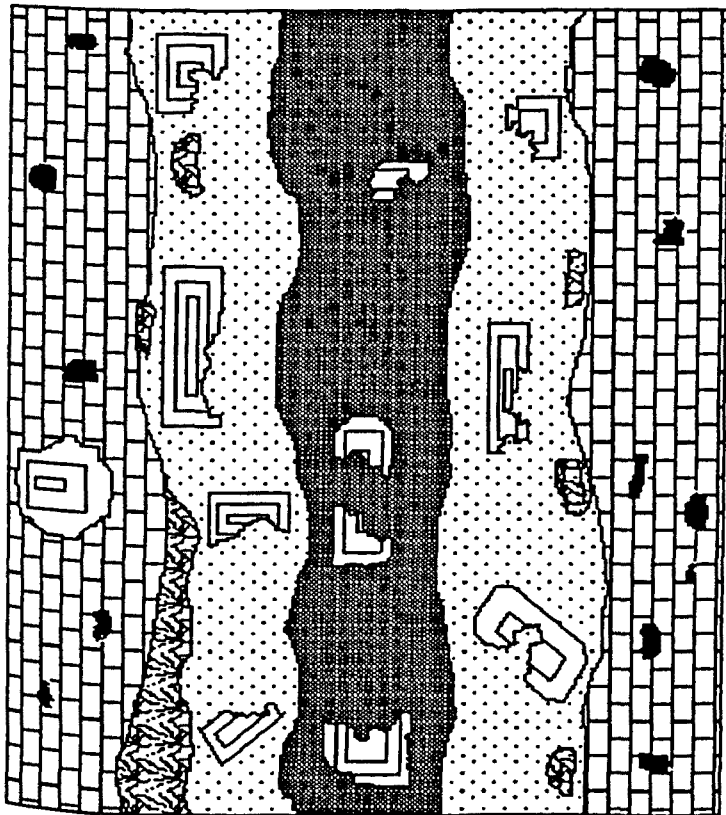
La zona de l'hedenbergita.

Aquesta zona és constituïda principalment per cristalls hipi a al.lotriomòrfics d'hedenbergita, llur composició oscil.la entre Di_{38} Hd_{62} i Di_6 Hd_{94} . Associada a l'hedenbergita és troba una scheelita precoç, aquesta presenta una fluorescència tant de color blanc-blavòs com groguenc (Fotos 8.3.5, 8.3.6, 8.3.7 i 8.3.8). Localment ha estat observat un altra piroxe amb composicions molt més properes al diòpsid (Di_{95} Hd_5 i Di_{60} Hd_{40}), que podria correspondre al diòpsid format per metamorfisme de difusió. Els diòpsids presents a l'interior del marbre i a les vetes calcosilicatades, en sectors allunyats del skarn, formats per metamorfisme de difusió tenen composicions molt properes al terme diòpsid (Di_{96} Hd_4 - Di_{88} Hd_{12}).

Sovint s'observa una retrogradació de la hedenbergita a actinolita+quars+calcita en el endoskarn i a prehnita en el exoskarn. Generalment associada a aquestes retrogradacions es troba esfèn.

Totes les zones anteriorment descrites solen estar més o menys retrogradades a prehnita, malgrat que la zona de l'hedenbergita es la que sol estar-ho més sovint. La prehnita es presenta en cristalls al.lotriomòrfics, molt sovint associada a esfèn.

VETA CALCOSILICATADA Sta. LLOGAIA.



CALCITA + DIOPSIDA.

WOLLASTONITA

IDOCRASA

GRANAT

HEHEMBERGITA.

Fig. 8.3.5.- Esquema d'una veta metamòrfica del skarn de Sta. Llogaia.

ORDRE DE SUCCESIO MINERAL DEL SKARN DE Sta. LLOGAIA.

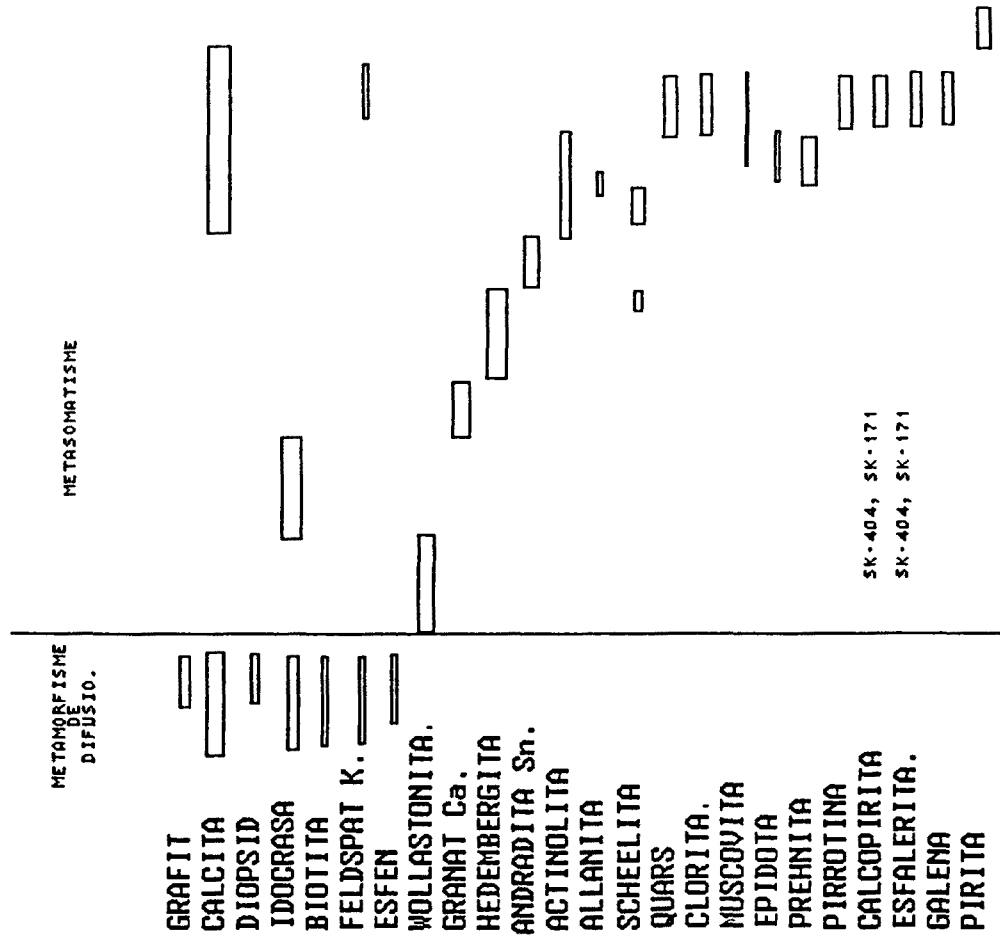


Fig. 8.3.6.- Seqüencia mineral del skarn de Sta. Llogaia..

Els marbres que limiten lateralment les vetes, presenten disseminacions d'idocrasa (Foto 8.3.1). El contingut en aquest mineral disminueix cap a la part externa del skarn (Fig. 8.3.2), la qual cosa podria correspondre a un origen metasomàtic d'aquesta idocrasa, o bé a una variació composicional de la calcària. Mes endavant en parlar dels isotops estables de C i O, tornarem sobre aquesta qüestió.

El bandat metasomàtic en vetes, desapareix al allunyar-nos cap la part externa del skarn, per continuar una sèrie de vetes d'idocrasa massissa (Foto 8.3.9).

EL SKARN MASSIS.

El skarn massís és desenvolupa tant sobre la roca ignia (endoskarn) com sobre la calcària (exoskarn). El endoskarn és constituït per un agregat de grà fi de plagiòclasi, quars, ortosa, idocrasa, granat, hedenbergita, actinolita i calcita, i en menor quantitat allanita, scheelita, esfèn, zircó, apatita, calcopirita, esfalerita i pirrotina.

A l'igual que en el skarn bandat ha estat observada la transformació d'idocrasa en granat de composició compresa entre Gr90 And10 i Gr30 And70 (Fig. 8.3.12). En el skarn massís hom pot observar un segon granat de composició andradítica (Fig. 8.3.12), aquest granat pot presentar continguts en Sn de fins a 3.67 % en pes. Les composicions riques en Sn es troben lligades a les composicions més andradítiques del granat, presentant sovint una zonació alternant de bandes més o menys riques en Sn. L'andradita estannífera es reconeix fàcilment per presentar a visu un color verd-fosc molt característic, i al microscopi un color verd-groguenc. Són nombroses les cites de la presència d'andradita amb estany en skarns (Saksela, 1951; Floyd's, 1968;

SKARN DE Sta. LLOGAIA. (SK-414).

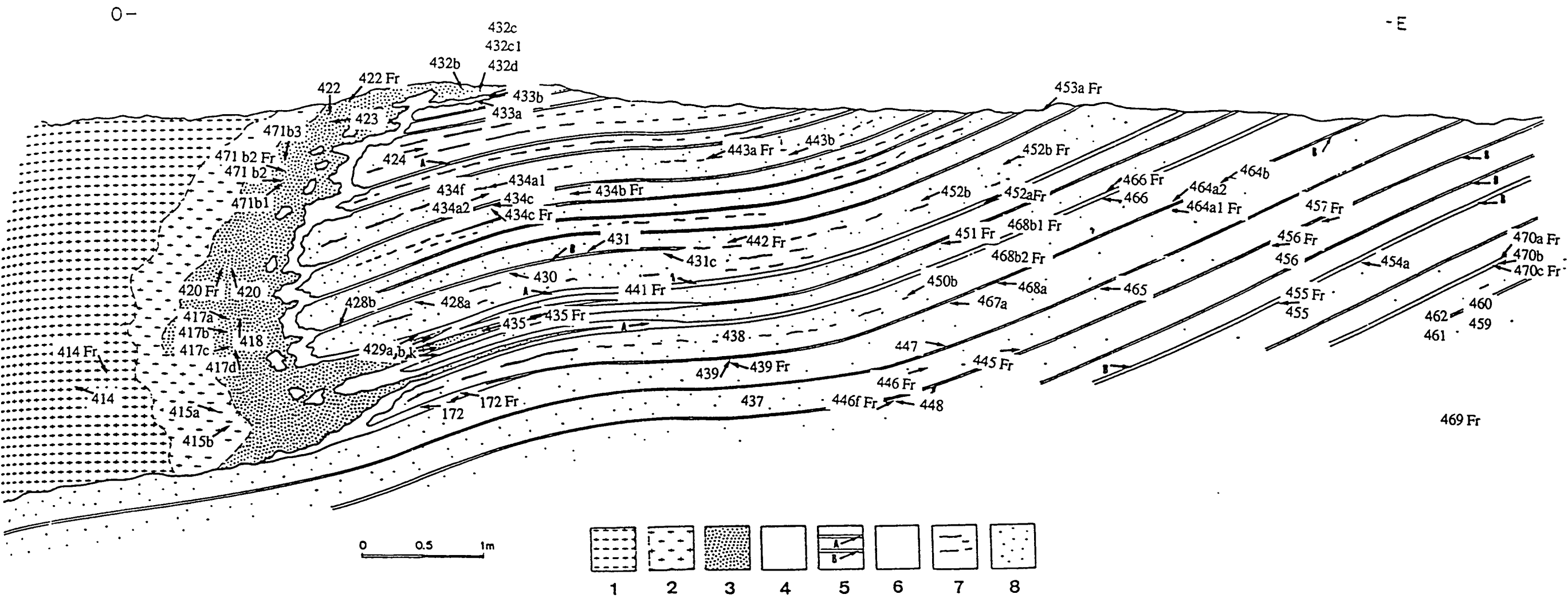
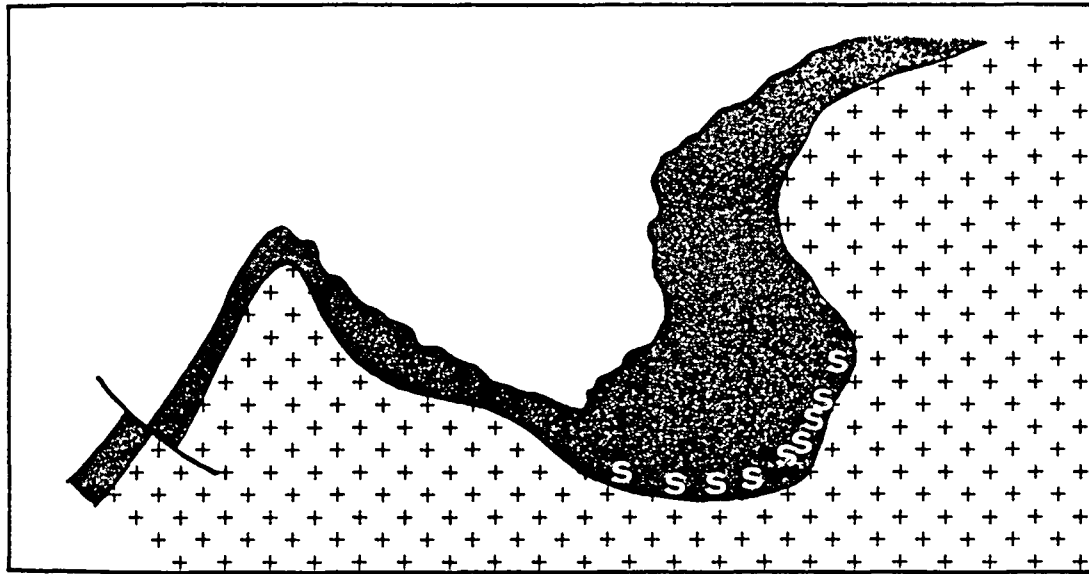
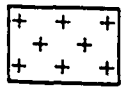


Fig. 8.3.7.- Situació de les mostres analitzades del skarn de Sta. llogaia (Sk-414).



0 50 mt



Granodiorita



Skarn massiu



Calcaries



Indicis de Scheelita

Fig. 8.3.8.- Esquema en planta del skarn Sk-404, situant els sectors rics en scheelita.

com l'aport i pèrdua d'elements al llarg de la formació del skarn.

8.3.3.1.- DIFERENCIES GEOQUIMIQUES ENTRE SKARNS D'INFILTRACIO I SKARNS DE DIFUSSIO.

S'ha realitzat un acurat mostreig del skarn de Sta. Llogaia (Sk-414), s'han analitzat els nivells clarament metasomàtics separant les diferents zones de la columna metasomàtica, els nivells clarament de difusió i els nivells dubtosos de pertanyer a un o altre origen. La situació de les mostres analitzades es pot observar a la Figura 8.3.7 (els resultats es troben a l'annex 2).

En la grafica SiO₂/pèrdua al foc (Fig. 8.3.9a), es pot observar l'agrupació de les diferents mostres analitzades en tres grups: un primer amb les pèrdues al foc majors que corresponen als marbres amb silicats disseminats, un segon mes nombros amb valors de SiO₂ entre 30 i 50 % que correspon a tots els nivells calcosilicats (metasomàtics i de difusió) i un tercer grup amb valors de pèrdua al foc molt baixos i valors de SiO₂ al voltant del 70 % corresponents a les mostres de la granodiorita i els endoskarms poc desenvolupats. Lo mateix es pot observar en el diagrama SiO₂/CaO (Fig. 8.3.9b).

En el diagrama Zr/TiO₂ es pot observar una bona correlació positiva (0.93) de totes les mostres, a excepció de les mostres de la granodiorita i dels endoskarms que mostren una lleugera correlació negativa (Fig. 8.3.9c). La coincidència entre les mostres dels nivells de difusió amb una correlació de 0.97, i la distribució de totes les mostres indica la presència ja en el substracte original del titani posteriorment incorporat a les idocrases, i per tant el caràcter inert del zirconi i el titani.

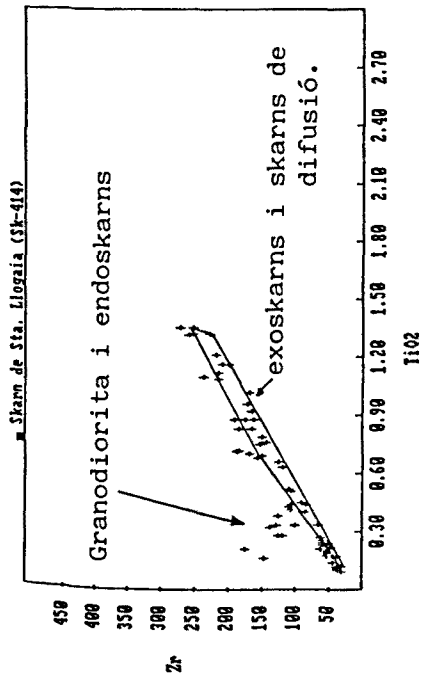


Fig. 8.3.9c

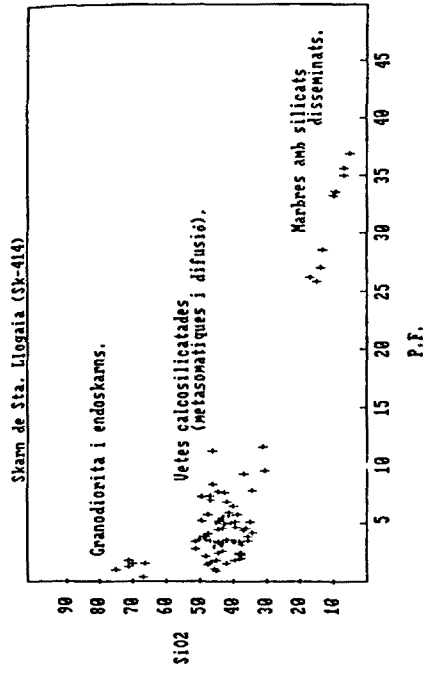


Fig. 8.3.9a

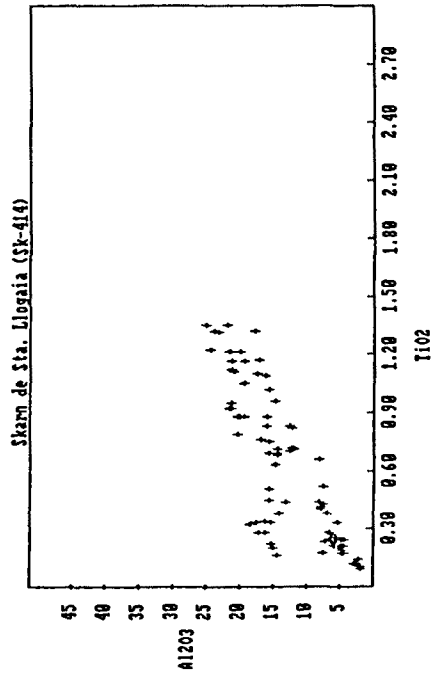


Fig. 8.3.9d

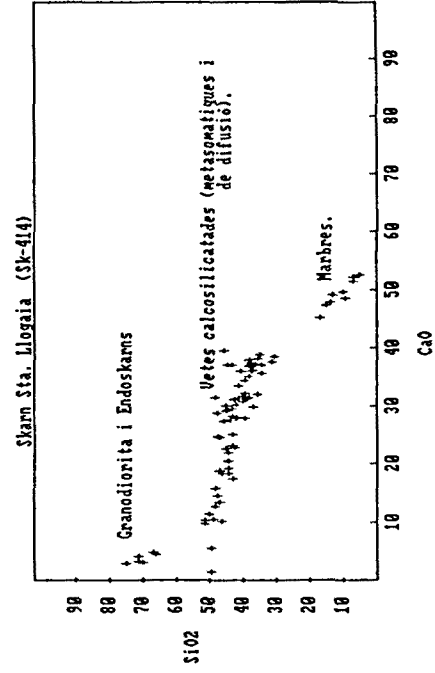


Fig. 8.3.9b

Fig. 8.3.9.- Diagrames de variació de diversos elements del skarn de Sta. Llogaia.

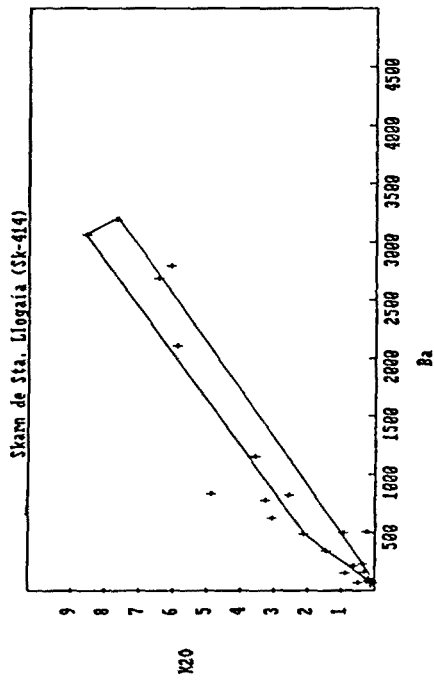


Fig. 8.3.9g

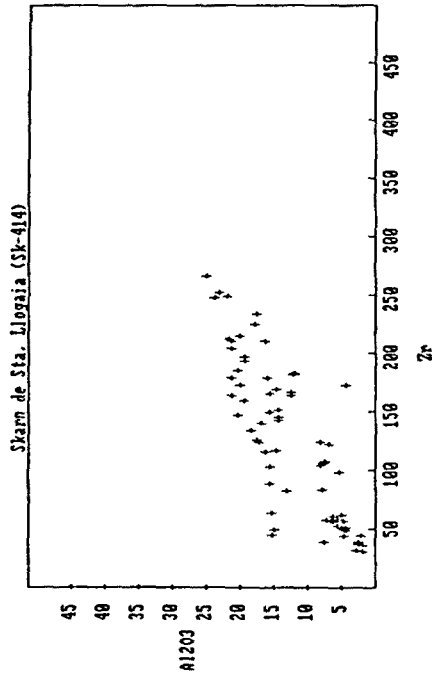


Fig. 8.3.9e

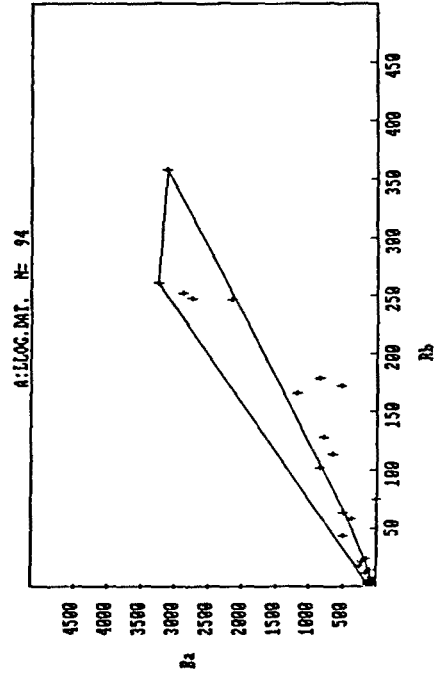


Fig. 8.3.9h

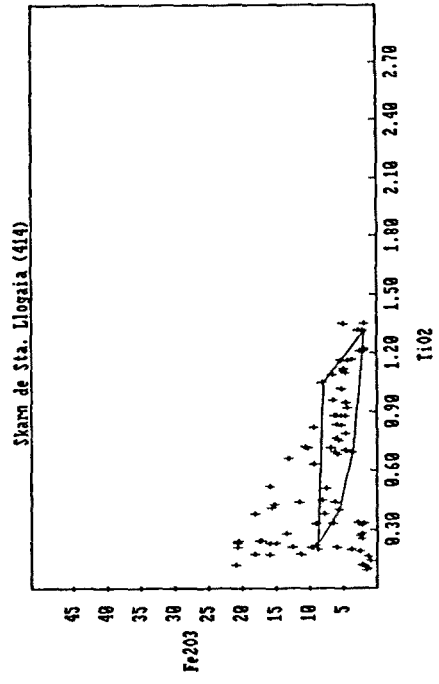


Fig. 8.3.9f

Fig. 8.3.9.- Diagrames de variació per a diversos elements del skarn de Sta. Llogaia.

Els diagrames Al/Zr i Al/Ti diferencien els nivells calcosilicatats formats sobre els antics nivells pelitics, i els formats sobre el marbre. Aquests darrers mostren continguts en Al, Ti i Zr menors (Figs. 8.3.9d, e)

Per altra banda el Fe i el Ti dels nivells clarament de difusió mostren una correlació negativa (-0.7), mentre que la projecció de les mostres metasomàtiques dona lloc a una dispersió per l'increment del ferro. Fet que indica l'aport extern de ferro al sistema (Fig. 8.3.9f).

El K i el Rb, tal com es d'esperar, mostren una correlació molt bona (0.98). El Ba en els nivells de difusió presenta una correlació molt bona amb el K i el Rb (0.99 i 0.98 respectivament), indicador del lligam que presenta aquest element amb els feldspats (Figs. 8.3.9g i 8.3.9h).

El Pb i el Zn per la seva banda mostren una lleugera correlació de 0.73, més endavant tornarem sobre aquests elements.

8.3.3.2.- DISTRIBUCIO ESPACIAL DELS ELEMENTS AL SKARN.

Hem representant els continguts de cada element en diagrames X-Y-Z, on el vèrtex X representa la distància horitzontal, el Y la distància vertical de l'aflorament i Z el contingut en el element representat. A les Figures 8.3.10, és representen aquests diagrames pels diferents elements analitzats. La representativitat de les mostres per sectors s'ha realitzat en base a criteris de camp i microscòpi.

Elements majors:

En aquests diagrames, s'observa una lògica disminució del contingut en Si des de la granodiorita cap el exoskarn (Fig 8.3.10a). No s'observa una variació del contingut en sílice al llarg de les vetes calcosilicatades (metasomàtiques i difusió), ja que les juntes d'estratificació dels marbres també presenten continguts de sílice alts degudes a la presència d'idocrasa, biotita, diòpsid, feldspats, etc, formats durant el metamorfisme de difusió a partir dels minerals argilosos existents a les juntes d'estratificació.

El titani és concentra en el endoskarn (Fig 8.3.10b), ja que és un element força in mòbil des de el punt de vista geoquímic. A més hom pot observar clarament que les vetes calcosilicatades no presenten variacions espacials importants, ja que tal com ja hem vist anteriorment el Ti es present a la roca abans dels desenvolupament del skarn i entra a formar part de l'estructura de la idocrasa durant el metamorfisme de difusió i el metasomàticisme associat a la formació del skarn.

L'alumini, mostra una evolució similar a la del titani (Fig 8.3.10c), a diferència d'aquest les vetes més properes al contacte intrusiu mostren continguts lleugerament majors que les vetes allunyades degut possiblement a l'aport extern al sistema d'aquest element.

El ferro i el manganès és concentren principalment a la part més interna del skarn, així com a les vetes calcosilicatades (Fig 8.3.10d i e). La part més propera al contacte amb el granit presenta continguts lleugerament més alts en Mn deguts a l'aport metasomàtic d'aquest element. Aquesta observació està

d'acord amb les observacions de Zahm (1987) al skarn de Salau i Le Guyader (1982) al skarn de Costabona.

El magnesi és troba distribuït homogeniament a l'endoskarn, a l'exoskarn i a les vetes calcosilicatades, no s'observen variacions apreciables entre els continguts de les vetes i els del skarn massís (Fig 8.3.10f).

El potassi marca clarament la zona de l'endoskarn (Fig 8.3.10g). El leucogranit mostra un empobriment important en aquest element possiblement relacionada amb la forta alteració que mostra aquesta fàcies granítica. Dos nivells calcosilicatats allunyats dels contacte mostren continguts en potàsi més importants que la pròpia granodiorita, deguts a la presència de feldspat potàssic i biotita. Aquests minerals són força corrents en els nuclis dels skarns de difusió de mida superior als 2 cm. És important remarcar que la majoria dels nivells que han sofert metasomatisme presenten continguts molt baixos o nuls en potassi, fet possiblement indicador de la migració durant el procés metasomàtic d'aquest element. Aquest rentat de elements alcalins està d'acord amb les observacions de Le Guyader (1982)

Traces:

El W mostra clarament el control que sobre aquest element presenta el Ca en aquests tipus de dipòsits, concentrant-se exclusivament en el exoskarn, i a la part més externa de l'endoskarn (Fig 8.3.10i). Aquest element marca clarament el desenvolupament preferencial del skarn seguint les juntes d'estratificació.

El Ba, Rb es distribueixen a les fàcies granítiques i lligats als nivells calcosilicatats de difusió més allunyats del contacte (Fig 8.3.10j, k). Els nivells intermedis amb continguts en aquests elements

corresponen a les mostres 431, corresponents a un nivell de difusió no afectat pel metasomàtisme. Aquests elements es troben associats als feldspats ja que entren fàcilment a la xarxa cristal·lina d'aquests. Tal com ja hem vist anteriorment el Ba i el Rb es correlacionen amb el K, al igual que aquest hom pot observar el rentat del bari i el rubidi pels fluids metasomàtics, fet ja observat al skarn del Costabona per Le Guyader (1982)

El Pb, el Zn i el Ni mostren increments importants a les vetes calcosilicatades més allunyades del skarn (Fig 8.3.10l, m, n). La qual cosa podria indicar també el rentat d'aquests elements originalment a la roca, pels fluids metasomàtics. Cal remarcar, però que en altres skarns d'aquesta tipologia ha estat observada la presència en l'estadi metal·litzant d'esfalerita.

El coure queda molt restringit a l'endoskarn i al skarn massís (contacte exo-endoskarn) (Fig 8.3.10o). Aquest control del contacte intrusiu sobre el coure, segurament correspon a canvis fisicoquímics en la solució deguts a les reaccions de formació del skarn.

El P és concentra en el leucogranit, així com en el nivell calcosilicatat més allunyat del contacte (Fig 8.3.10p), fet que sembla indicar, al contrari de les observacions de Le Guyader (1982) al skarn de costabona, el rentat d'aquest element per les solucions metasomàtiques. Més endavant en parlar de les terres rares, tornarem sobre aquesta qüestió.

El Sr, Zr i Y no mostren variacions significants, el itri mostra una disminució gradual cap les parts internes del skarn, l'estronci mostra un empobriment brusc a les parts més internes, mentre que el circoní no mostra variacions. (Fig 8.3.10q, r, s, t). Aquestes

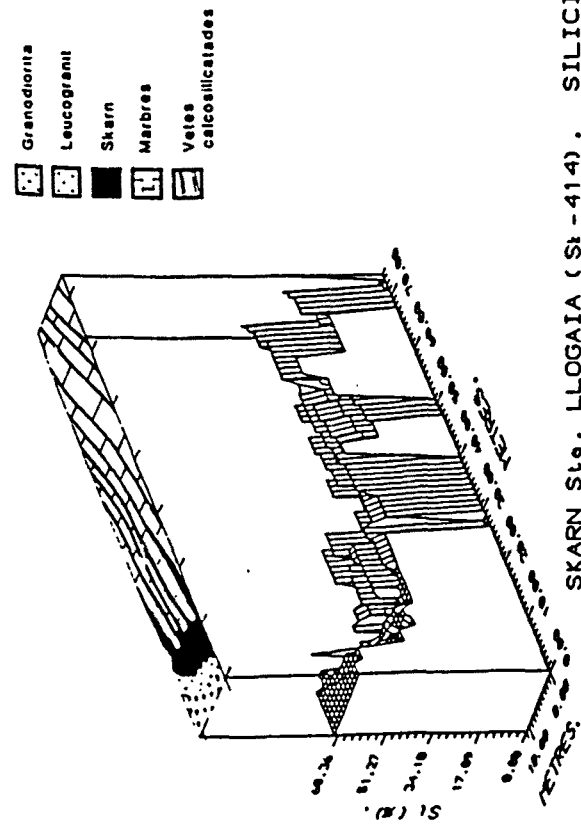


Fig. 8.3.10a

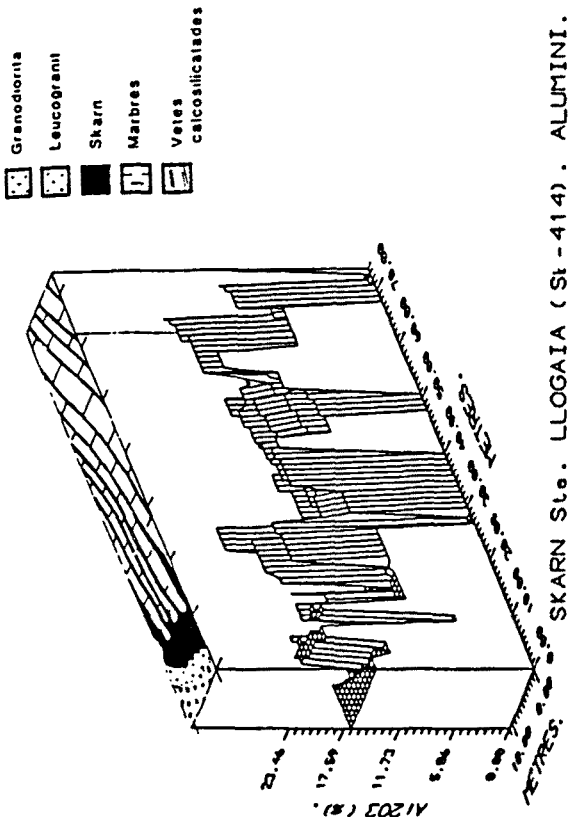


Fig. 8.3.10c

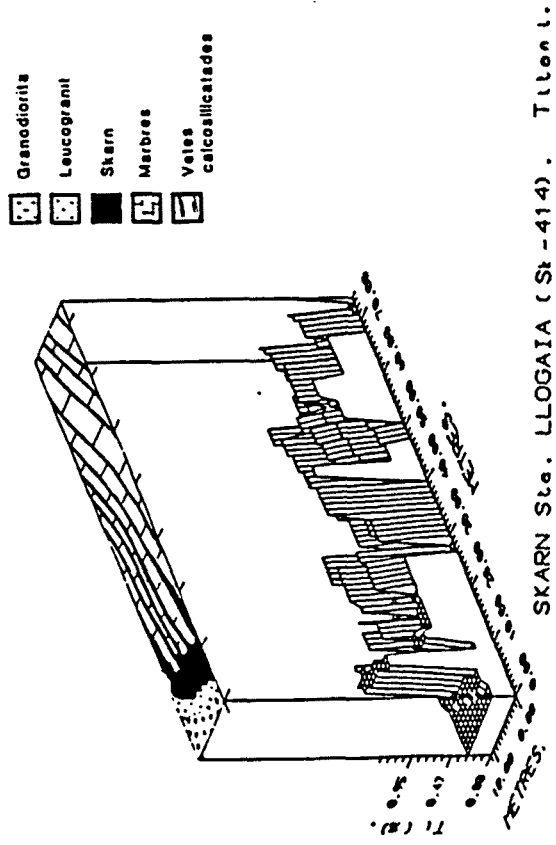


Fig. 8.3.10b

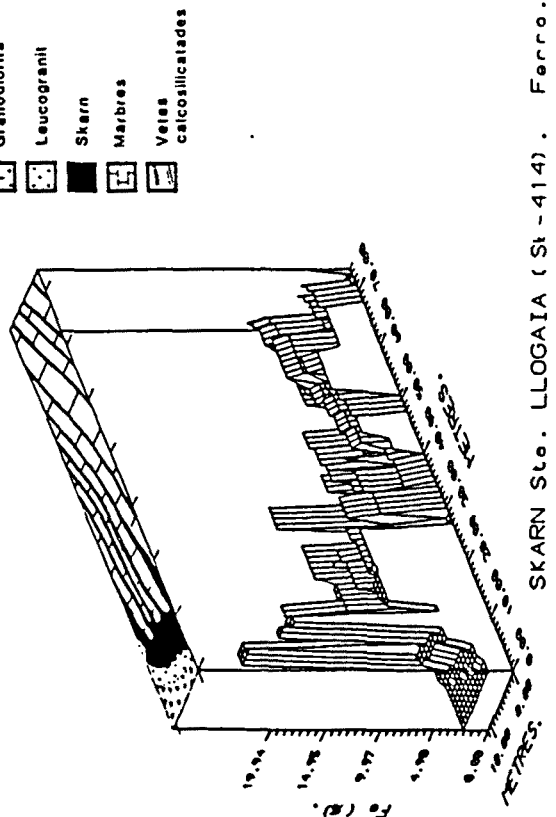
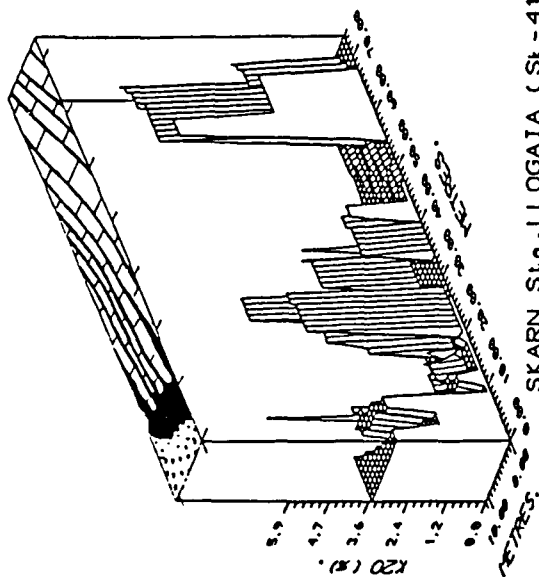


Fig. 8.3.10d

Fig. 8.3.10.- Diagrames de variació espacial del contingut en diversos elements en el skarn de Sta. Llogaia.

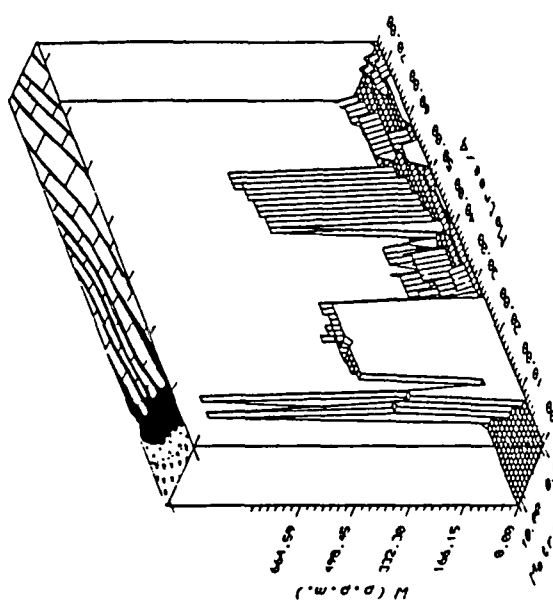
Granodiorita
Leucogranit
Skarn
Marbres
Vetes calcossilicalades



SKARN St. LLOGAIA (St - 414) . POTASI .

Fig. 8.3.10g

Granodiorita
Leucogranit
Skarn
Marbres
Vetes calcossilicalades

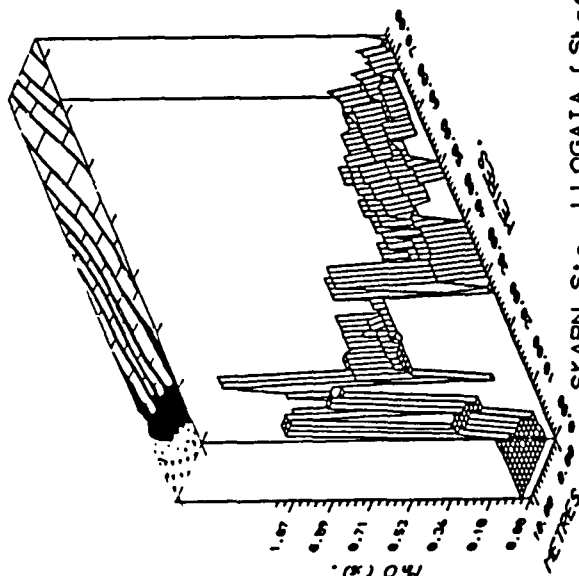


SKARN DE Sta. LLOGAIA (SK - 414) . WOLFRAM .

Fig. 8.3.10i

Fig. 8.3.10 (continuació).- Diagrames de variació espacial del contingut en diversos elements en el skarn de Sta. Llogaia.

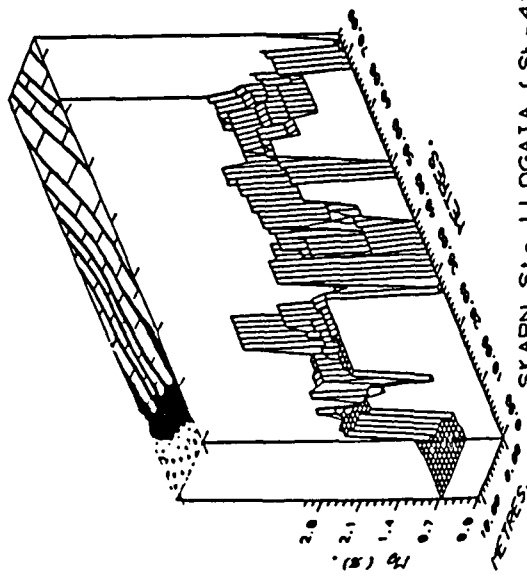
Granodiorita
Leucogranit
Skarn
Marbres
Vetes calcossilicalades



SKARN St. LLOGAIA (St - 414) . MANGANES .

Fig. 8.3.10e

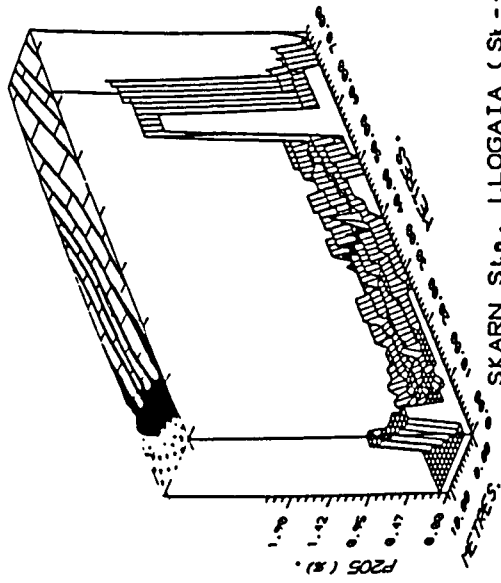
Granodiorita
Leucogranit
Skarn
Marbres
Vetes calcossilicalades



SKARN St. LLOGAIA (St - 414) . MAGNESI .

Fig. 8.3.10f

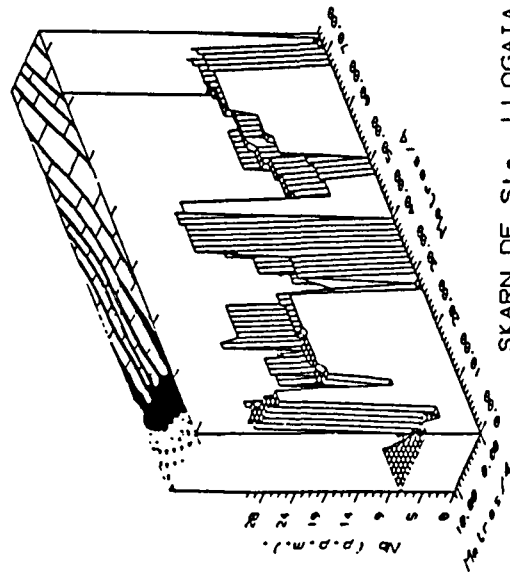
Granodiorita
 Leucogranit
 Skarn
 Marbres
 Vetes calcosilicatades



SKARN Ste. LLOGAIA (St-414). FOSFOR.

Fig. 8.3.10p

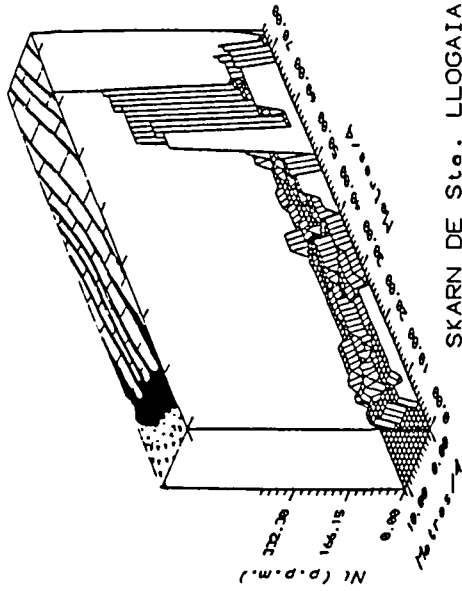
Granodiorita
 Leucogranit
 Skarn
 Marbres
 Vetes calcosilicatades



SKARN DE Ste. LLOGAIA (SK-414). NIOBI.

Fig. 8.3.10u

Granodiorita
 Leucogranit
 Skarn
 Marbres
 Vetes calcosilicatades



SKARN DE Ste. LLOGAIA (SK-414). NIOQUE

Fig. 8.3.10n

Granodiorita
 Leucogranit
 Skarn
 Marbres
 Vetes calcosilicatades

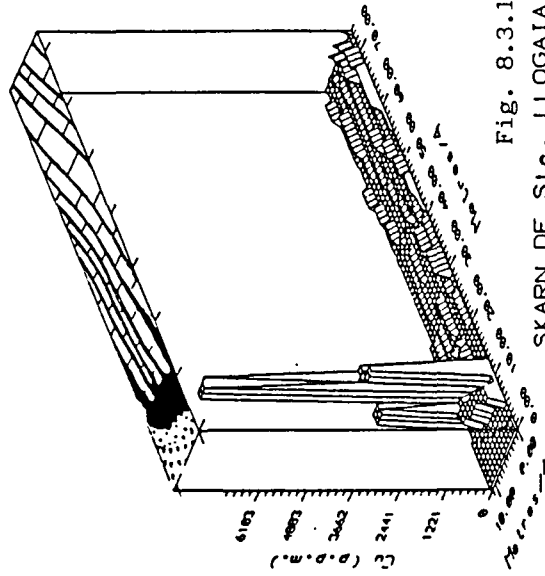


Fig. 8.3.10o

SKARN DE Ste. LLOGAIA (SK-414). COUFE.

Fig. 8.3.10 (continuació).- Diagrames de variació espacial del contingut en diversos elements en el skarn de Sta. Llogaia.

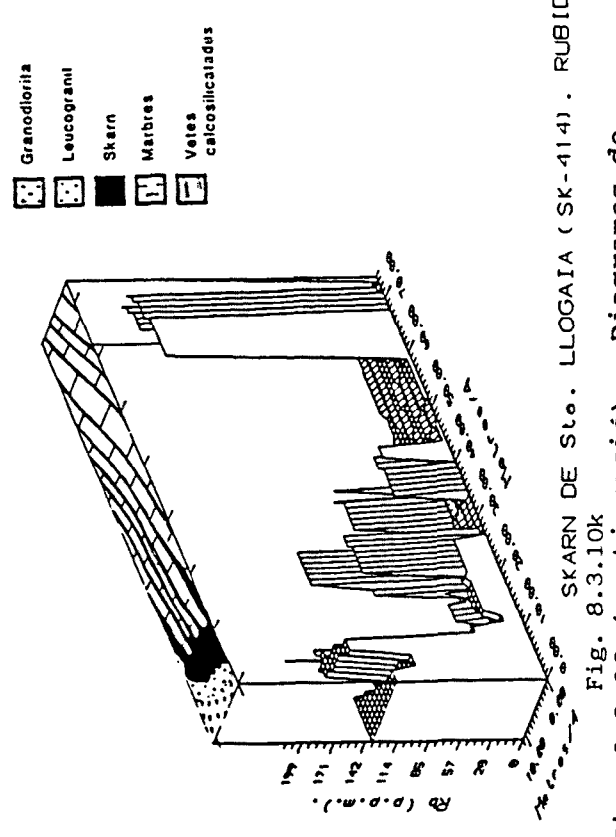
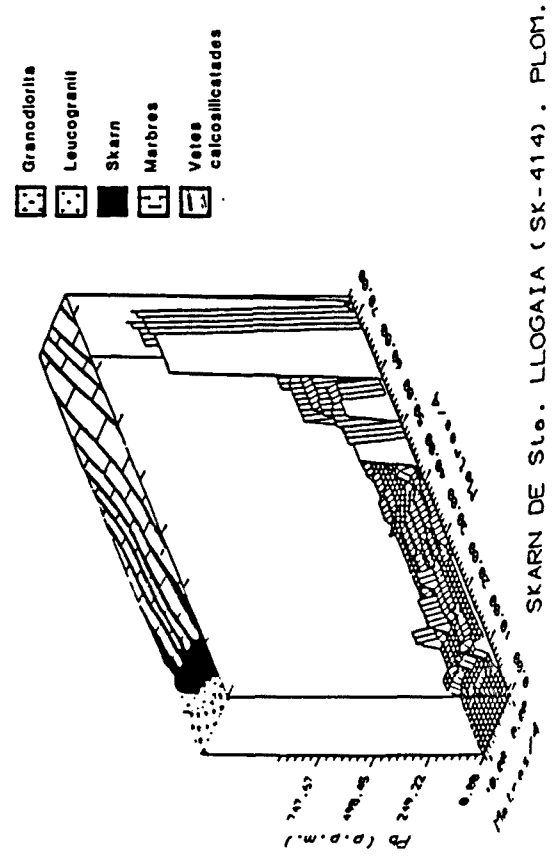
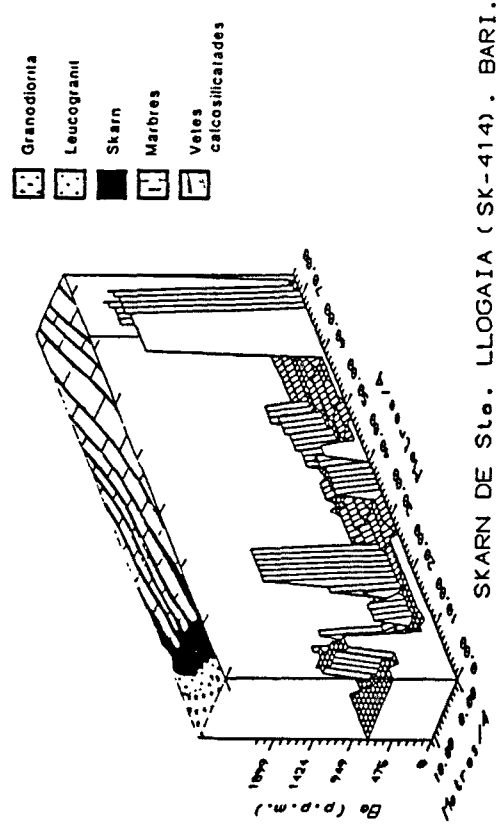
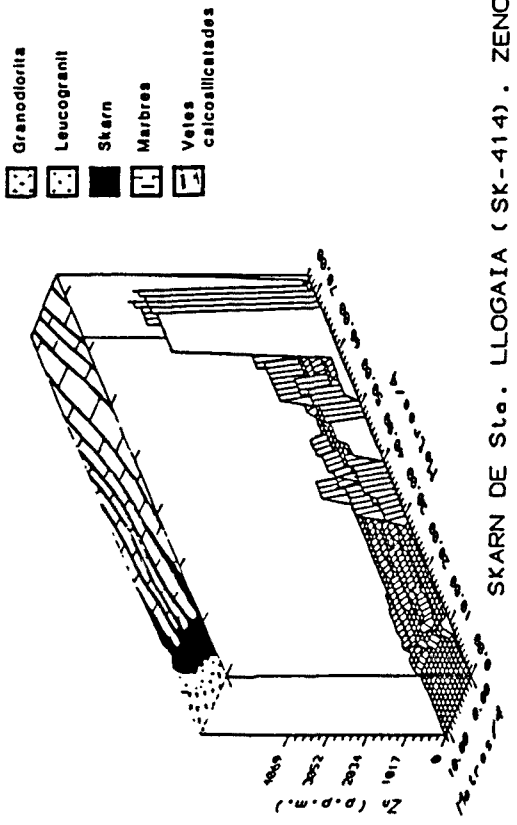
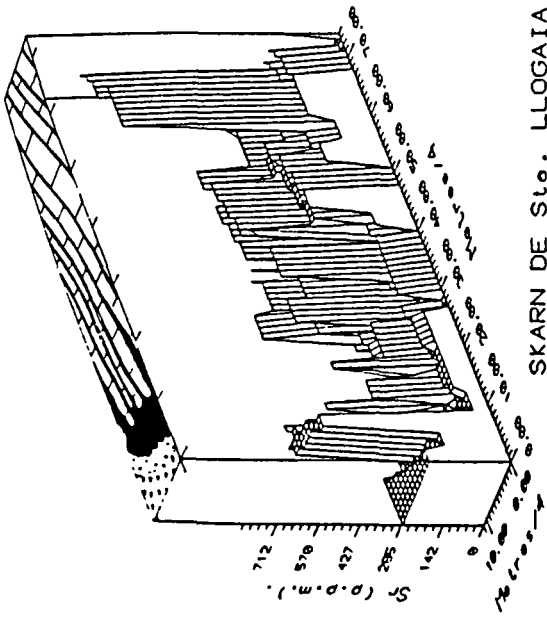


Fig. 8.3.10 (continuació). - Diagrames de variació espacial del contingut en diversos elements en el skarn de Sta. Llogaia.

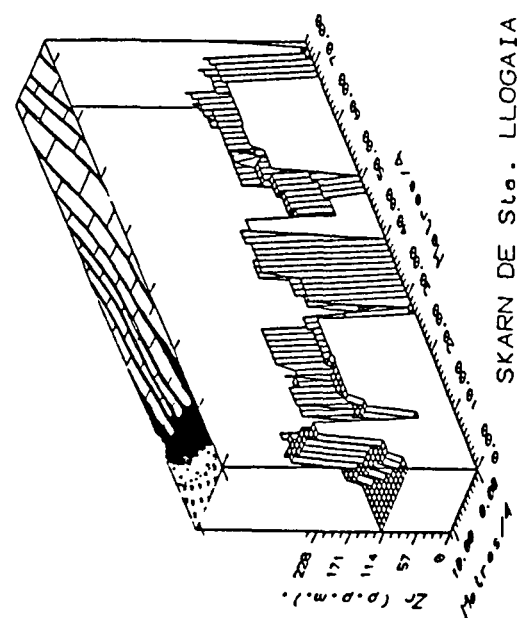
Granodiorita
Leucogranit
Skarn
Marbres
Vetes calcosilicatades



SKARN DE Sto. LLOGAIA (SK-414) . ESTRONCI

Fig. 8.3.10q

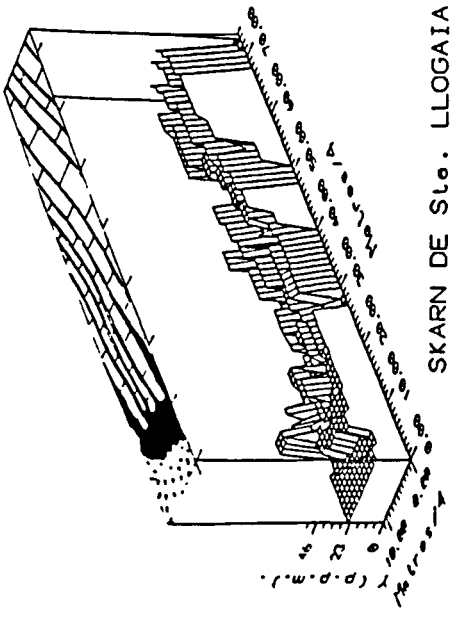
Granodiorita
Leucogranit
Skarn
Marbres
Vetes calcosilicatades



SKARN DE Sto. LLOGAIA (SK-414) . ZIRCONII

Fig. 8.3.10r

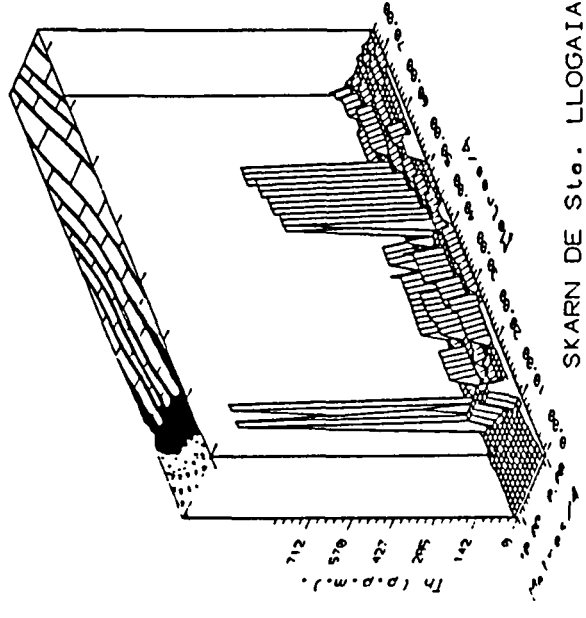
Granodiorita
Leucogranit
Skarn
Marbres
Vetes calcosilicatades



SKARN DE Sto. LLOGAIA (SK-414) . ITRI

Fig. 8.3.10s

Granodiorita
Leucogranit
Skarn
Marbres
Vetes calcosilicatades



SKARN DE Sto. LLOGAIA (SK-414) . THORI

Fig. 8.3.10t

Fig. 8.3.10 (continuació).- Diagrames de variació espacial del contingut en diversos elements en el skarn de Sta. Llogaia.

observacions estan d'acord amb les realitzades per Le Guyader (1982) al skarn del Costabona.

Durant el proces metasomàtic hom pot observar un aport extern clar de Mn, Fe, W, Cu, un lleuger increment de Al, Nb i Si. Al contrari els fluids metasomàtics provoquen un rentat de P, Ni, K, Sr, Ba, Rb, Zn, Pb, Y. D'altra banda, el Ti, Zr i molt probablement el Mg és comporten com elements inerts. El rentat del Pb i el Zn dels nivells pelítics, tenin en compte la presència d'aquests elements en forma de galena i esfalerita associats a la paragenesis quars + calcita + clorita en altres skarns de tungstè de l'àrea (Sk-404, Sk-171), pot ser indicador d'una variació en el potencial químic d'aquests elements en el fluid.

8.3.3.3.- LES TERRES RARES.

Les anàlisis de terres rares Yb, Dy, Y, Eu, Nd, La i Ce s'han realitzat en espectrometria d'emissió plasma, amb un I.C.P. JY 38 de l'École des Mines de Saint Etienne. La taula d'anàlisis es troba a l'annexe 2.

S'han analitzat els continguts en les terres rares avans esmentades de nivells calcosilicatats corresponents clarament al metamorfisme de difusió i de nivells corresponents a la columna metasomàtica associada al skarn, així com de nivells amb un origen dubtos.

El diagrama La/Ce, mostra una correlació molt bona entre totes les mostres, tant les metasomàtiques com les de difusió (Fig. 8.3.11a), la qual cosa indica el control dels nivells pelítics originals sobre aquests elements. Per contra el diagrama Dy/Yb mostra una lleugera dispersió (Fig. 8.3.11b), molt més accentuada en el diagrama Yb/La (Fig. 8.3.11c), de les mostres metasomàtiques.

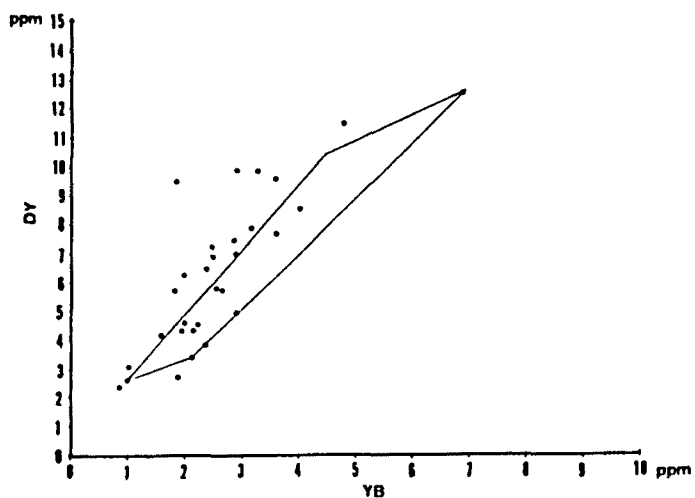
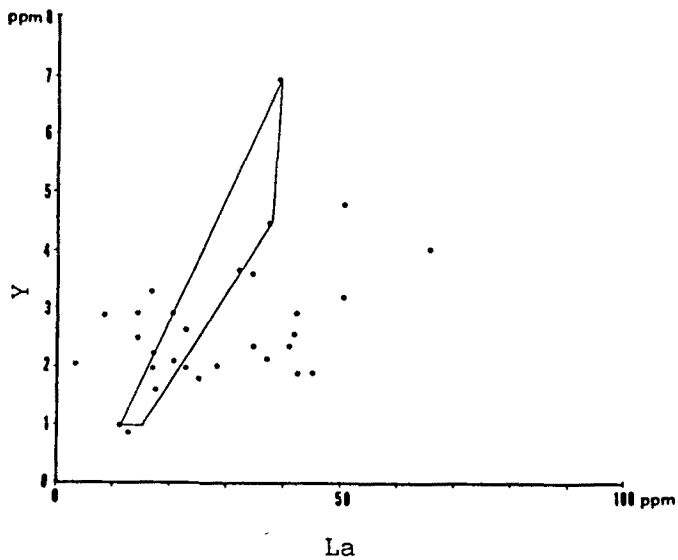
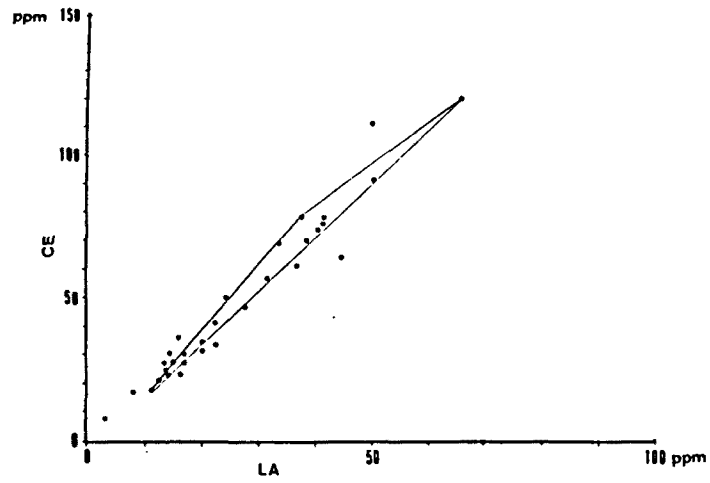


Fig. 8.3.11.- Diagrames de variació de terres rares del skarn de Sta. Llogaia.

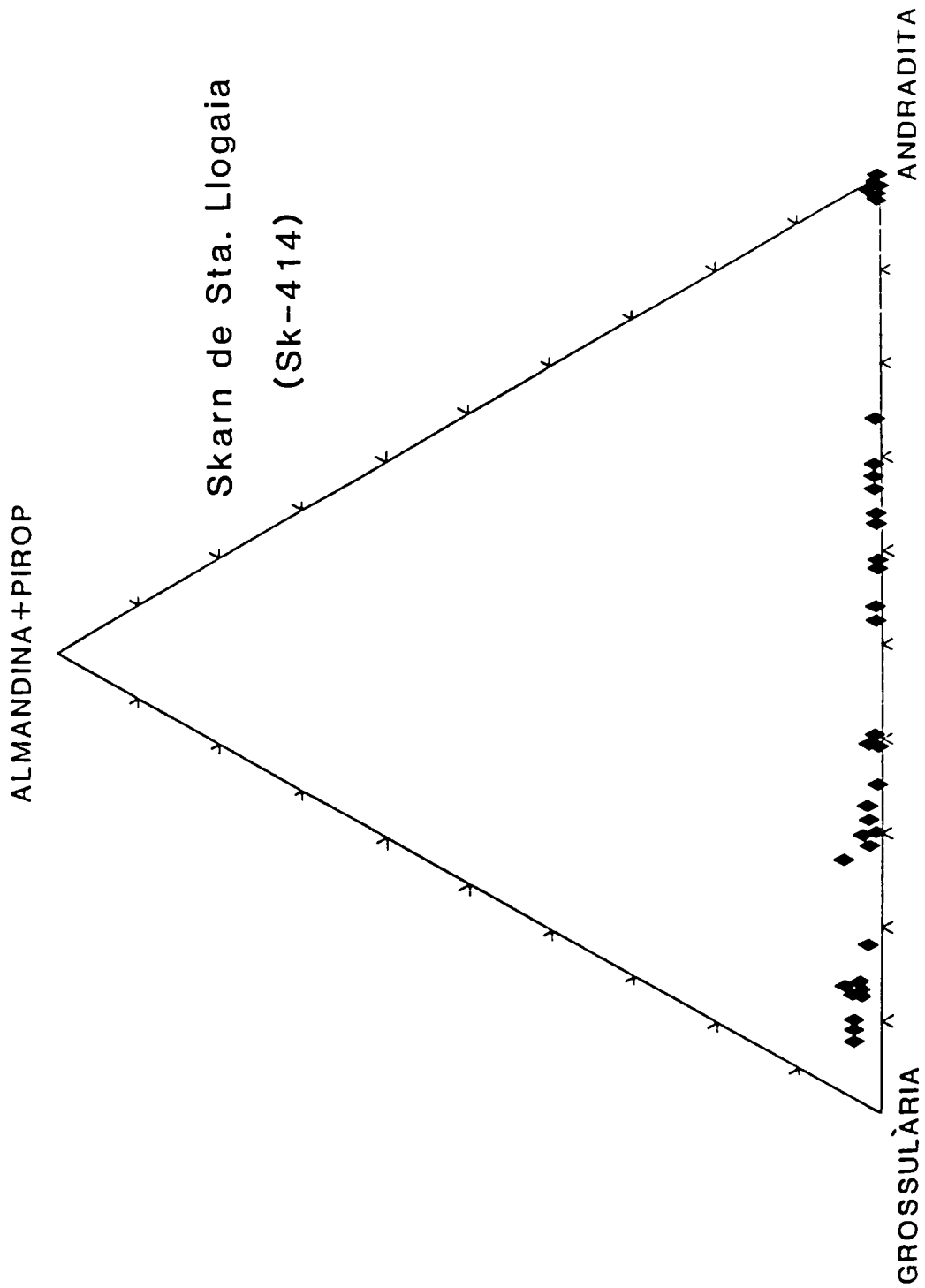


Fig. 8.3.12.-Diagrama triangular grossulària-andradita-almandina, on es mostra la composició dels granats dels skarns d'idocrasa-wollastonita mineralitzats en scheelita.

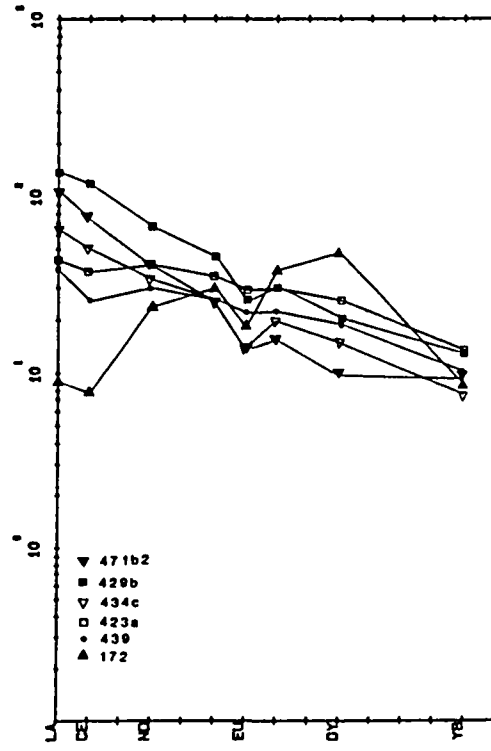
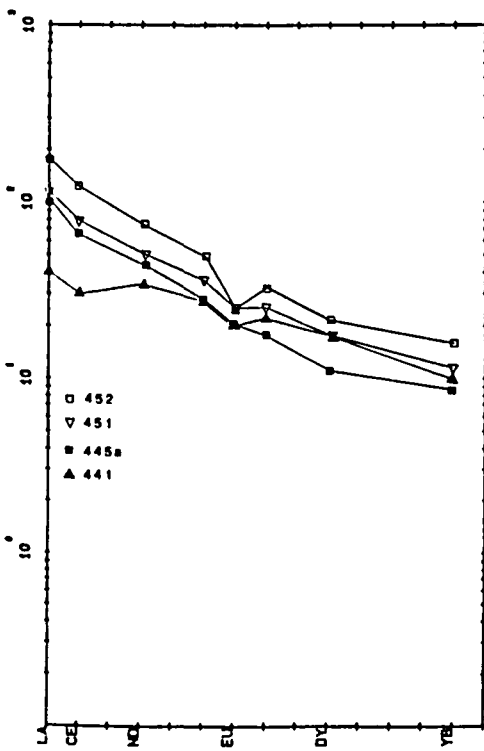
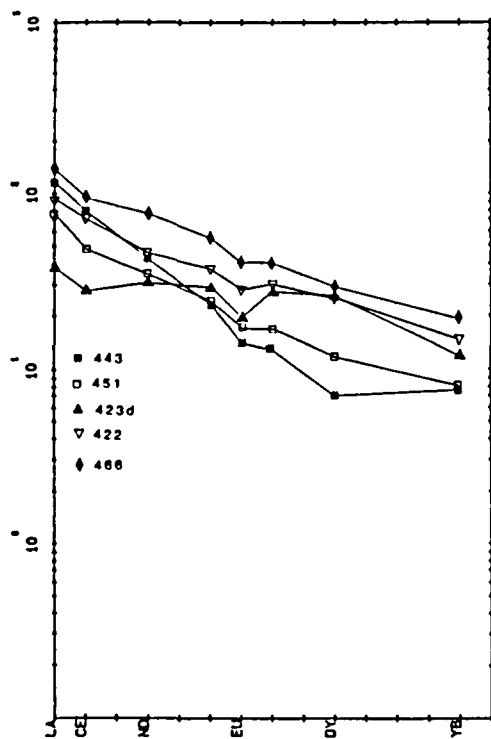


Fig. 8.3.13.(continuació)- Espectres de terres rares dels nivells calcosilicatats (corneanes càlciques i skarns) normalitzades als valors dels condrits.

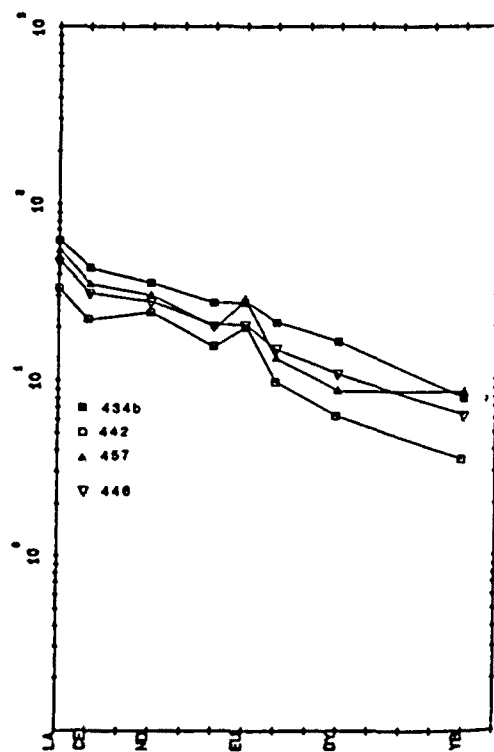
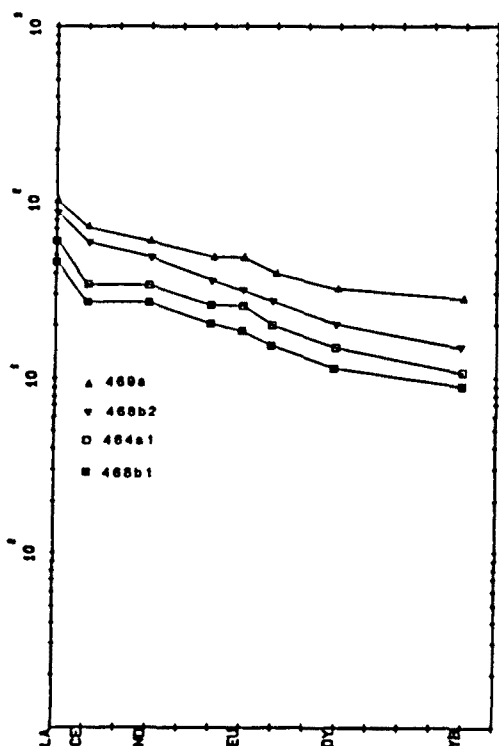
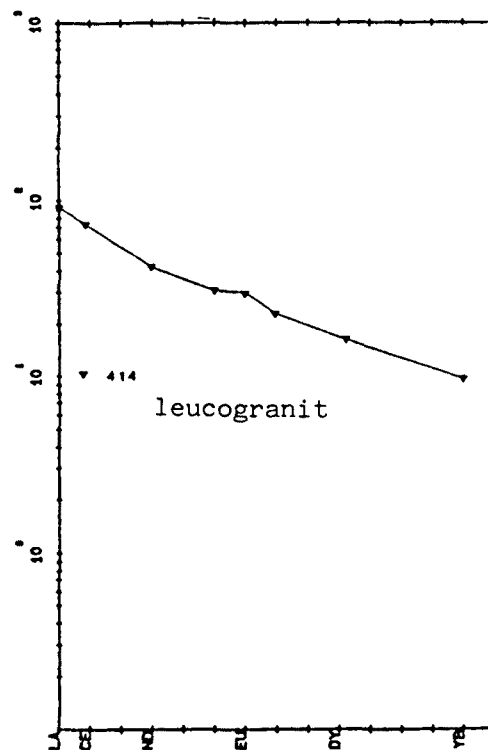
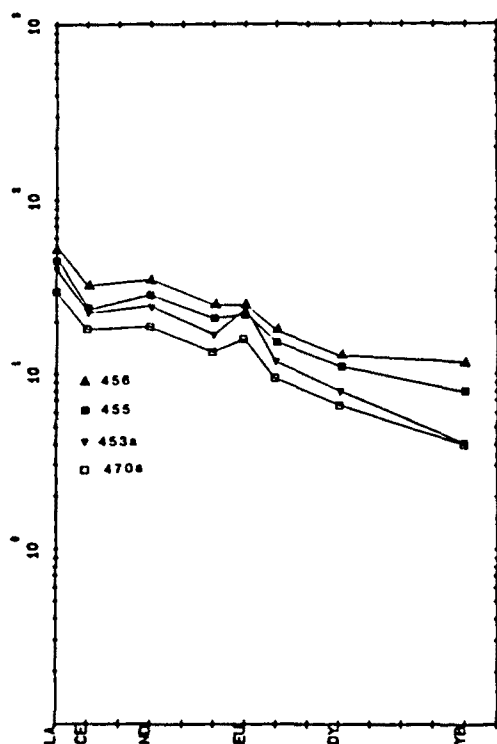


Fig. 8.3.13.- Espectres de terres rares dels nivells calcosilicatats (corneanes càlciques i skarns) normalitzades als valors dels condrits.

Ja hem vist anteriorment en parlar dels skarns esterils que la granodiorita mostra un espectre de terres rares amb una anomalia negativa en europi, fet ja observat per diversos autors a altres granits. L'espectre de les terres rares de la fàcies leucogranítica i de l'endoskarn, mostra l'existència d'una anomalia positiva en europi, aquesta es deguda al alt contingut en fosfor d'aquesta fàcies i concretament d'apatita. Watson i Green (1980) indiquen que l'europi trivalent entre amb més facilitat a la xarxa de l'apatit. L'enriquiment en europi de l'endoskarn pot ser indicador d'una f_{O_2} elevada.

Els espectres de les terres rares dels nivells de difusió normalitzats respecte als condrits, mostren l'existència d'una anomalia positiva en europi (Fig. 8.3.13a). Pel contrari els espectres de terres rares dels nivells clarament metasomàtics, normalitzats respecte els condrits, mostren l'existència d'una anomalia negativa en europi (Fig. 8.3.13b).

Representant sobre el skarn, el signe de les anomalies en europi, hom pot observar la distribució de les anomalies positives a la part més allunyada del skarn, mentre que les anomalies negatives es disposen a la part més proximal del skarn (Fig. 8.3.14). Les indentacions de ambdues anomalies són degudes al desenvolupament preferencial del skarn segons els plans d'estratificació. La distribució de les anomalies negatives es congruent amb la distribució de les zones enriquides en Fe, Mn i W aportats externament al sistema, així com amb la zona rentada en P, K, Sr, Ba i Rb vista anteriorment.

L'espectre en terres rares d'aquest skarn mostra clarament el pas del fluid metasomàtic, el qual modifica substancialment el contingut en terres rares de la roca. El fluid produeix un empobriment de la roca

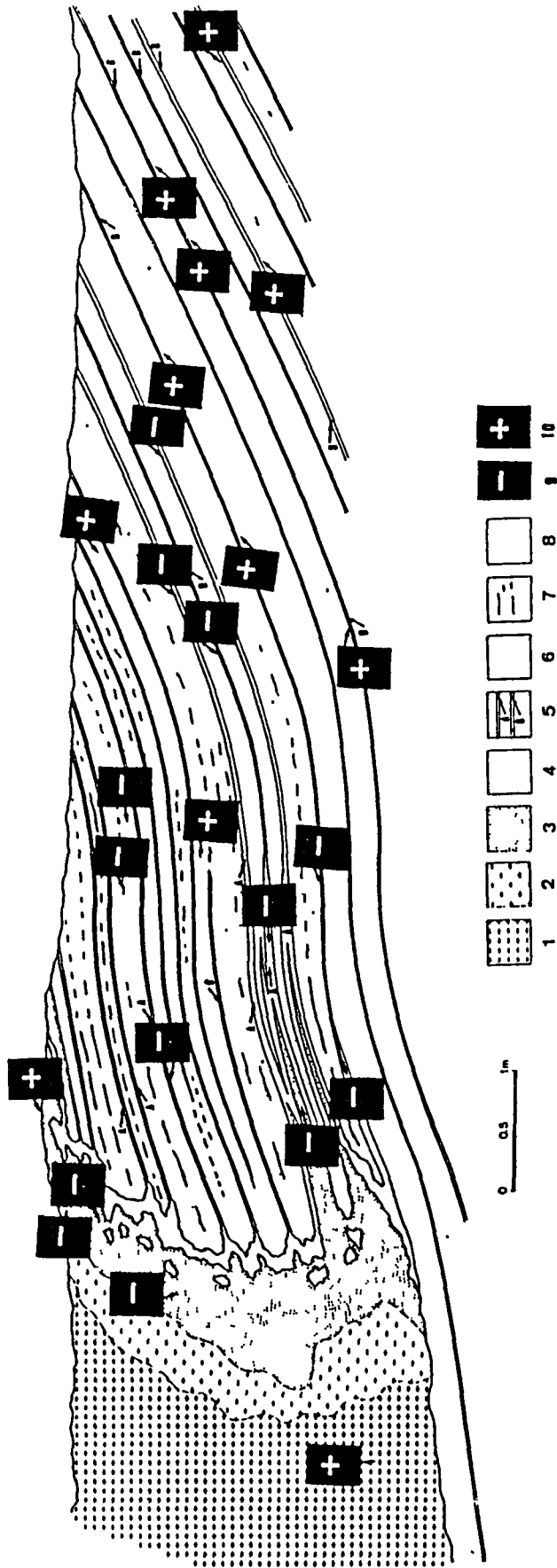


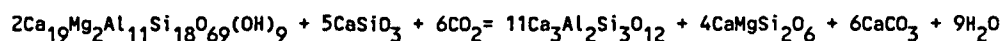
Fig. 8.3.14.- Tall geològic del skarn de Sta. Llogaia mostrant la disposició de les anomalies en europi al llarg del skarn. Observeu la disposició de les anomalies (-) a les parts internes del skarn, i de les anomalies (+) a les parts més externes. Les dues anomalies positives del skarn massís corresponen a la granodiorita.

en Eu, de tal manera que, el espectre d'aquestes mostra una anomalia negativa en Eu. Aquesta anomalia podria relacionar-se amb el rentat del fosfor dels nivells pelititcs pel fluid metasomàtic. El La i Ce semblen ser els elements menys movils, aquests podrien estar lligats a la presència d'allanita, mineral observat en els nivells de difusió.

8.3.4.- CONDICIONS DE FORMACIO.

8.3.4.1.- LA PRESENCIA D'IDOCRASA.

Tal com ja hem vist al capítol 8.2, la presència de wollastonita desenvolupada en contacte amb la idocrasa formada durant el metamorfisme de difusió (Fig. 8.3.5) limita la fracció molar del fluid en aquest estadi inicial de formació del skarn. Ja que a fraccions molars de CO₂ > 0.03 (Fig. 8.3.15) la idocrasa i la wollastonita donen lloc a la formació de la paragènesi de grossularia-diòpsid-cacita segons la reacció donada per Valley (1986):

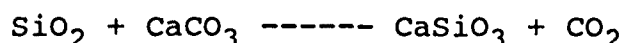


Idocrasa + Wollastonita = Grossulària + Diòpsida + Calcita

En el nostre cas, al no haver estat observada aquesta reacció, la fracció molar de CO₂ del fluid metasomàtic ha de ser menor de 0.03.

8.3.4.2.- LA PRESENCIA DE WOLLASTONITA.

Generalment en els skarns calcics el front de la sílice sol reaccionar per donar lloc a la formació de la wollastonita, segons la reacció:



Aquesta reacció té lloc depenen de la temperatura, la pressió i la fracció molar de CO₂. Com ja hem vist

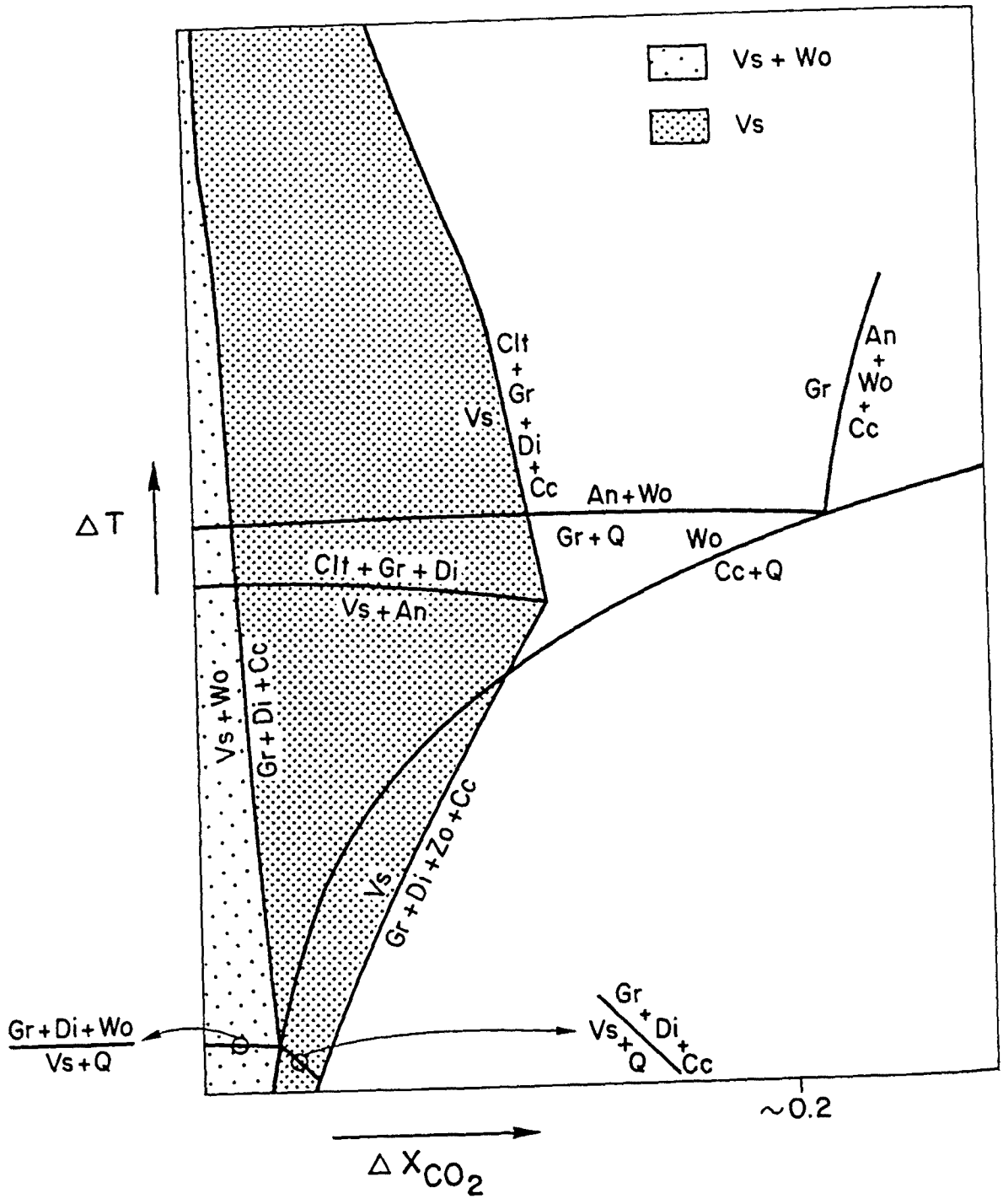


Fig. 8.3.15.- Diagrama T- X_{CO_2} mostrant el camp d'estabilitat de l'idocrasa. Observeu que el camp d'estabilitat d'aquest mineral junt amb wollastonita es limitat a $X_{CO_2} < 0.03$. Segons Valley et al. (1985).

anteriorment la presència d'idocrasa i wollastonita indica una $X_{CO_2} < 0.03$. Per a una pressió de 2Kbars (capítol 6) podem calcular la temperatura mínima de formació mitjançant l'equació donada al capítol 8.2:

$$T(^{\circ}C) = \left(\frac{- 11524.91}{(\ln X_{CO_2} - 11.2642)} \right) - 273.15$$

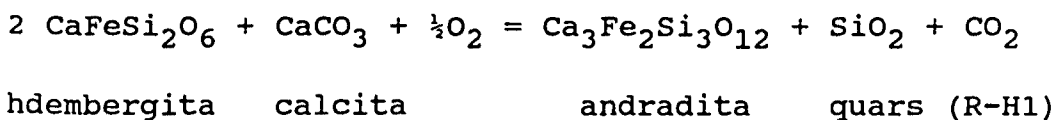
D'aquesta manera per una X_{CO_2} de 0.03 la temperatura mínima de formació del skarn va ser de 500°C (Fig 8.3.16).

8.3.4.3.- LA REACCIO HEDENBERGITA-ANDRADITA.

Localment s'ha observat la transformació incipient de l'hedenbergita en andradita (Foto 8.3.9). La andraditització de l'hedenbergita ha estat observada per diversos autors en skarns ferrics (Kurshakova, 1963; Kurshakova, 1971; Vladimirov, 1958; Yakovleva, 1963).

Aquest equilibri local entre l'hedenbergita i l'andradita, ens permet estimar les condicions de fugacitat d'oxigen en aquest estadi de formació del skarn.

La reacció que dona lloc a l'andraditització de l'hedenbergita en el nostre cas és:



Aquesta reacció ja fou estudiada per Soler (1977) i Soler (1980) al skarn de Salau. Guy (1988) estudia la variació de la f_{O_2} d'aquesta reacció segons l'activitat dels components i la fugacitat de CO_2 .

Assumint l'equilibri podem escriure:

$$AG_{\text{Reac}} = AG_{\text{Hed(PT)}} + AG_{\text{Cc(PT)}} - AG_{\text{And(PT)}} - AG_{\text{Q(PT)}} + \frac{1}{2}AG_{\text{O}_2(\text{PT})} - AG_{\text{CO}_2(\text{PT})}$$

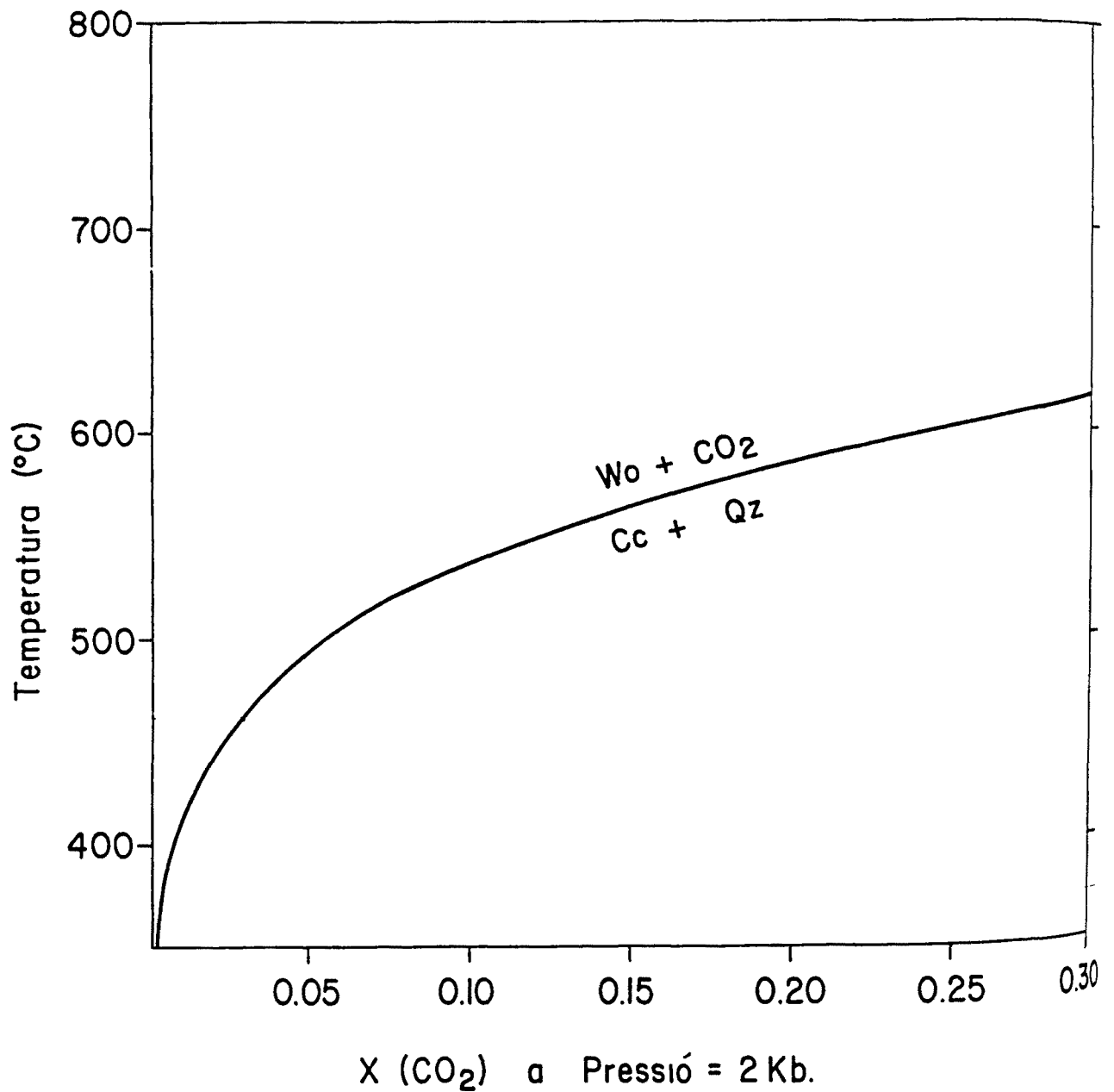


Fig. 8.3.16.- Diagrama T- X_{CO_2} a 2 Kb de pressió, mostrant les condicions de formació de wollastonita. Segons Berman et al. (1987)

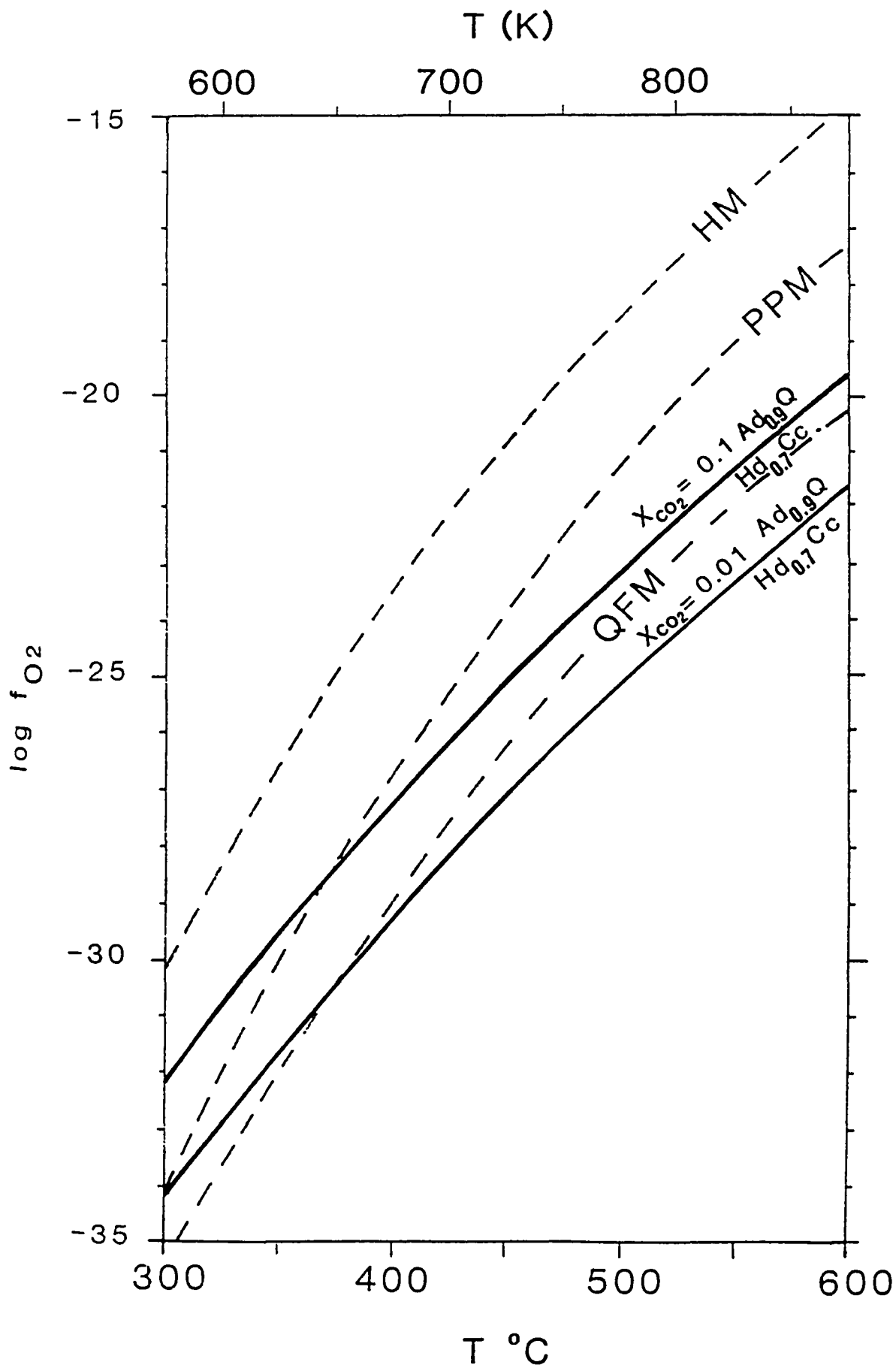


Fig. 8.3.17.- Diagrama f_{O_2} - T , on es mostren els principals tampons i la reacció d'andraditització de l'hedenbergita. Observeu que aquesta reacció implica una evolució del fluid metasomàtic cap a condicions de f_{O_2} creixents.

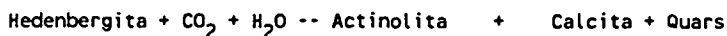
d'on

$$2 \log f_{\text{CO}_2} + f_{\text{O}_2} = \frac{-2*(2AG_{\text{Hed}(T)} - AG_{\text{Cc}(T)} - AG_{\text{And}(T)} - AG_{\text{Q}(T)} + AV^*P - AG^{\circ}_{\text{CO}_2})}{4.57T}$$

D'aquesta manera hem calculat la f_{O_2} a diferents temperatures i fraccions molars de CO_2 de 0.01 i 0.1, per les activitats d'hedenbergita i andradita. Les activitats s'han obtingut a partir de les anàlisis per la microsonda electrònica d'una hedenbergita transformada parcialment en andradita (anàlisis n° 432A78-granat, 432AA79-piroxè de l'annex 4). La AG de l'hedenbergita i l'andradita s'han obtingut de Soler (1977), les del quars i la calcita de Robie et al. (1978). Els resultats és mostren en una grafica f_{O_2} -T a la Fig 8.3.17. En aquesta hom pot observar que la f_{O_2} d'aquesta reacció per les activitats de hedenbergita i andradita trobades ($a_{\text{And}}=0.9$ i $a_{\text{Hed}}=0.7$) i X_{CO_2} compreses entre 0.1 i 0.01, és situa al voltant del tampó Q.F.M, per temperatures superiors als 400 °C. L'andratització de l'hedenbergita implica una evolució del fluid cap a f_{O_2} més oxidants (Fig. 8.3.17).

8.3.4.4.- LA PRESENCIA D'ACTINOLITA

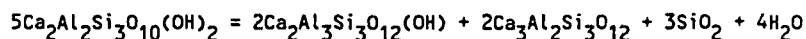
Tal com ja hem vist anteriorment l'hedenbergita en el endoskarn es reemplaçada per una paragènesi de quars + calcita + actinolita. Tenim en compte que la reacció d'uralitització de l'hedenbergita s'escriu:



D'acord amb les dades de Shoji (1980), per una X_{CO_2} compresa entre 0.03 i 0.1, la temperatura de retrogradació de l'hedenbergita a actinolita té lloc entre 360 i 450 °C respectivament (Fig 8.3.18).

8.3.4.5.- LA PRESENCIA DE PREHNITA

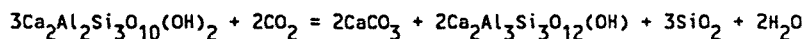
L'estabilitat de la prehnita a altes temperatures està limitada per la reacció (Pr1) estudiada per Liou (1971):



prehnita = zoisita + grossularia + quars

Segons Liou (1971) a 2 Kb de pressió aquesta reacció té lloc a 410 °C.

Per altra banda el camp d'estabilitat de la prehnita també està limitat per la X_{CO_2} del fluid mitjançant la reacció (Pr2):



prehnita = calcita + zoisita + quars

A 2 Kb de pressió, per sobre de 410 °C té lloc la desaparició de la prehnita mitjançant la reacció (Pr1) i s'entra en el camp d'estabilitat de la grossularia (Fig. 8.3.19).

D'aquesta manera la presència de prehnita en la fase de retrogradació de la columna metasomàtica, implica una temperatura inferior a 410 °C i una X_{CO_2} del fluid molt baixa (< 0.01). Els càlculs s'han realitzat amb el programa Geo-calc 1.0 (Berman et al., 1987) i dades de Liou (1971).

8.3.4.6.- LES CLORITES

Els càlculs termodinàmics s'han realitzat en base al model de sis components (Walshe, 1986) explicat al capítol 8.6.

S'han analitzat les clorites del skarn Sk-404 i Sk-171, a 350 °C, la f_{O_2} i f_{S_2} trobada, es situen al

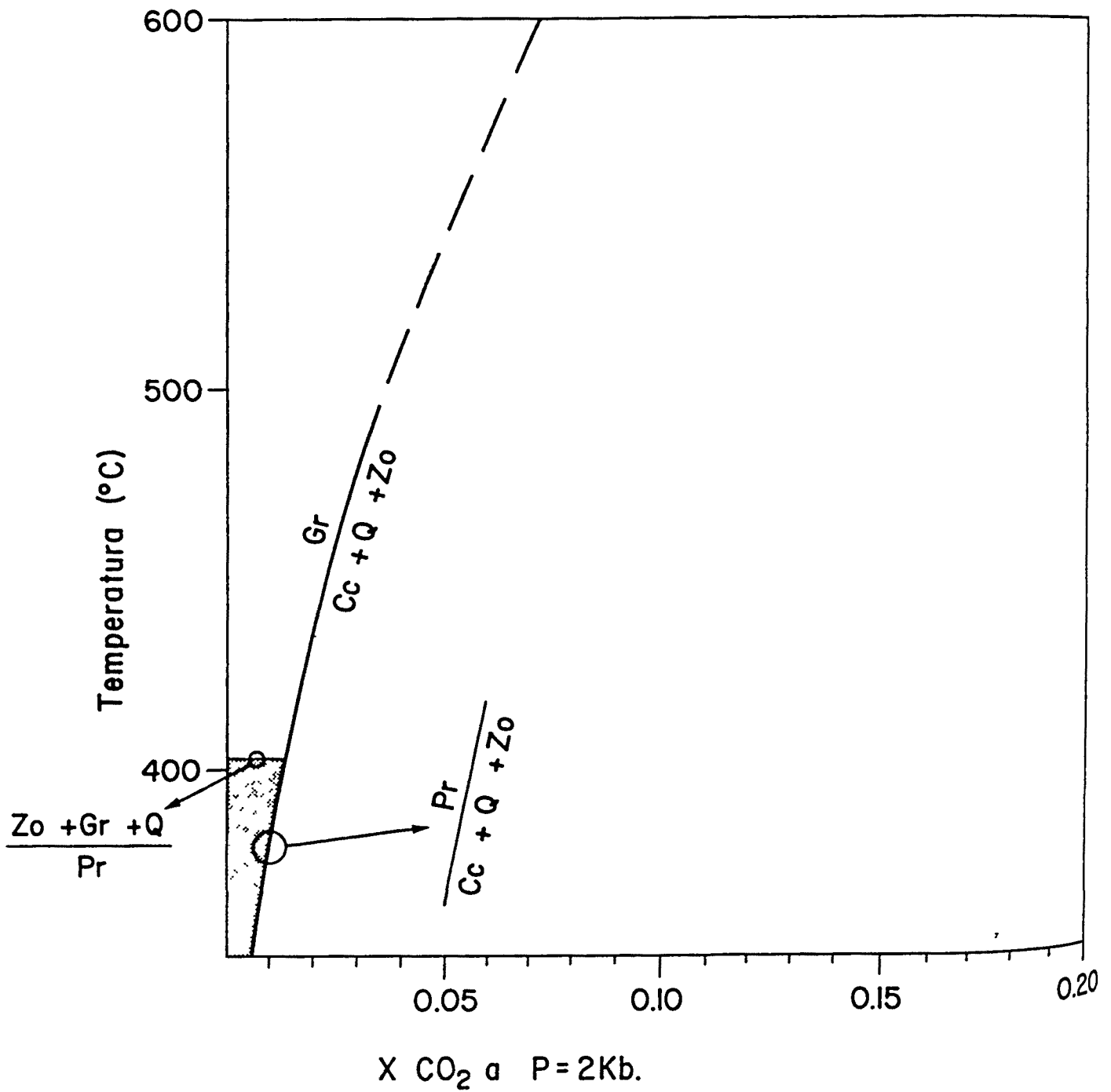


Fig. 8.3.19.- Diagrama T-X_{CO₂} mostrant el camp d'estabilitat de la prehnita. els calculs s'han realitzat mitjançant dades de Liou (1971) i el programa Geo-calc (Berman et al., 1987).

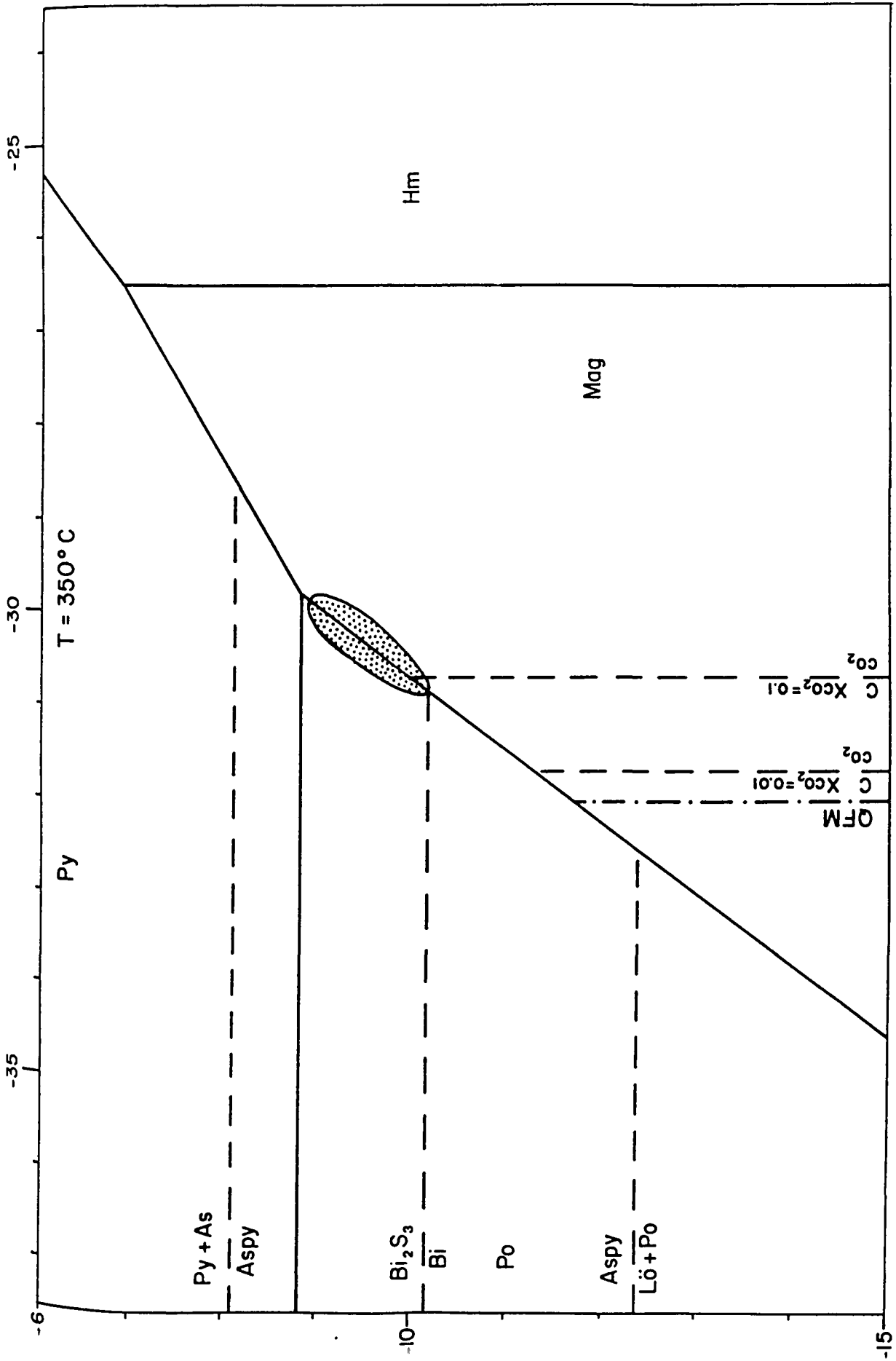


Fig. 8.3.20.- Diagrama f_{O_2} - f_{S_2} on es mostren les condicions del fluid mineralitzant obtingudes mitjançant els càlculs termoquímics de les clorites segons el model de sis components de Walshe (1986).

TAULA Nº 8.3.1. COMPOSICIO ISOTOPICA DE LES CALCITES
DEL SKARN DE Sta. LLOGAIA (SK-414).

SKARN	MOSTRA	d ¹³ C (‰)	d ¹⁸ O (‰)
Sk-414	172a	-8.0	11.3
Sk-414	172b	-5.9	11.4
Sk-414	423	-10.1	10.4
Sk-414	426	-3.9	12.6
Sk-414	434b1	-2.5	13.2
Sk-414	434b2	-2.6	13.1
Sk-414	440a	-7.6	12.10
Sk-414	440b	-4.9	12.5
Sk-414	444	-2.5	13.7
Sk-414	452	-5.8	13.4
Sk-414	455a	-11.2	12.3
Sk-414	455b	-11.3	12.4
Sk-414	455c	-5.8	15.3
Sk-414	467	-10.8	12.6
Sk-414	469	-8.1	17.9

MOSTRA DESCRIPCIO.

- 172a.- Marbre de gra mig amb molta idocrasa disseminada.
 172b.- Marbre de gra fi.
 423.- Calcita intersticial de silicats (aprox 1 cm).
 426.- Marbre amb molt poca idocrasa disseminada.
 434b1.- Marbre de gra fi amb idocrasa disseminada.
 434b2.- Veta de calcita de mida de gra mitjana.
 440a.- Marbre de gra fi amb molta idocrasa disseminada.
 440b.- Marbre de gra fi amb poca idocrasa disseminada.
 444.- Marbre de gra fi sense silicats.
 452.- Marbre de gra fi amb grafit.
 455a.- Marbre de gra fi amb grafit.
 455b.- Marbre de gra fi, grafit i molta idocrasa disseminada.
 455c.- Veta de calcita de gra groller (< 1cm).
 467.- Marbre amb grafit i vetes d'idocrasa.
 469.- Marbre de gra fi amb grafit situat a 70 m del contacte intrusiu.

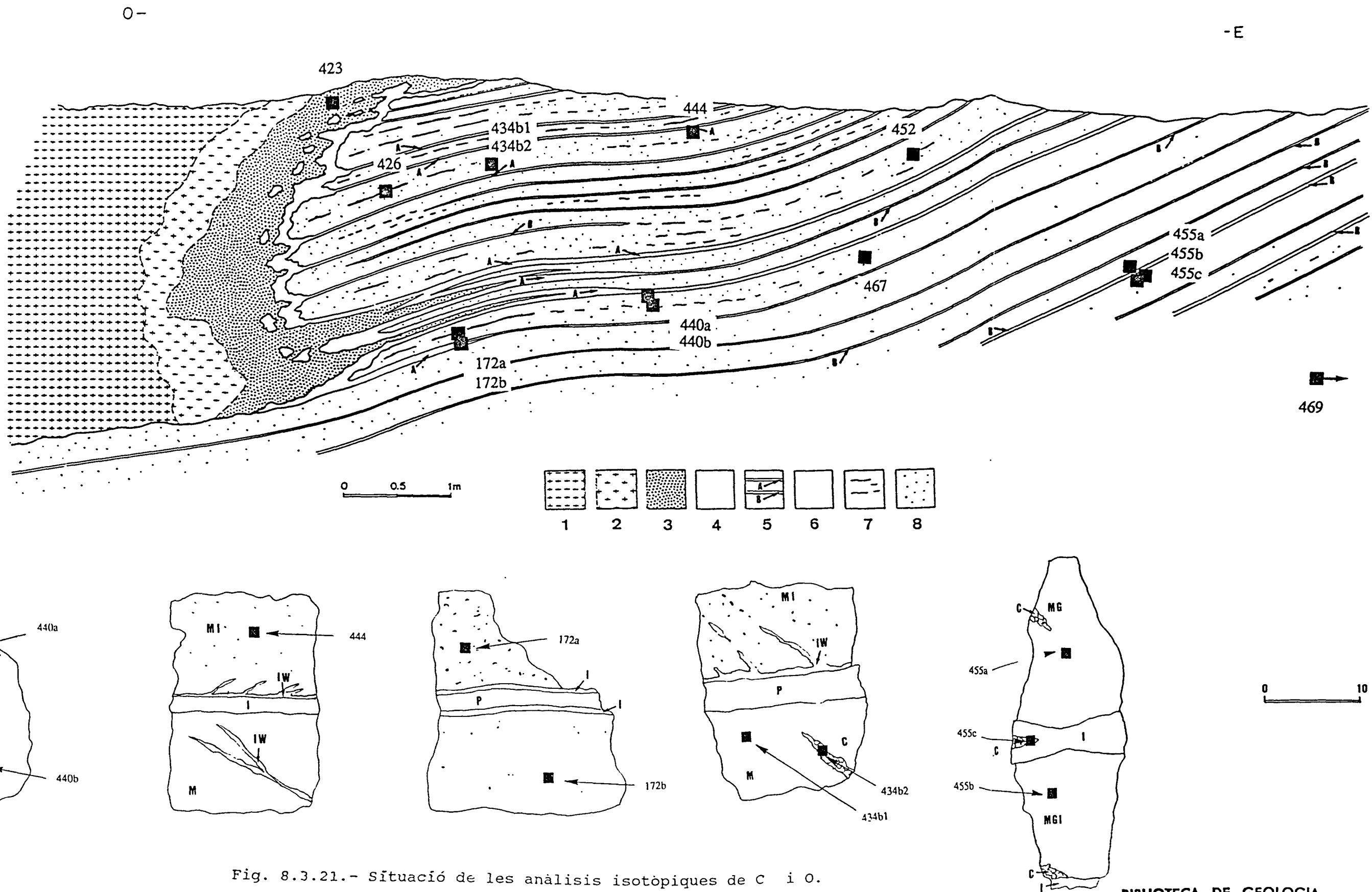


Fig. 8.3.21.- Situació de les anàlisis isotòpiques de C i O.

SKARN Sta LLOGAIA

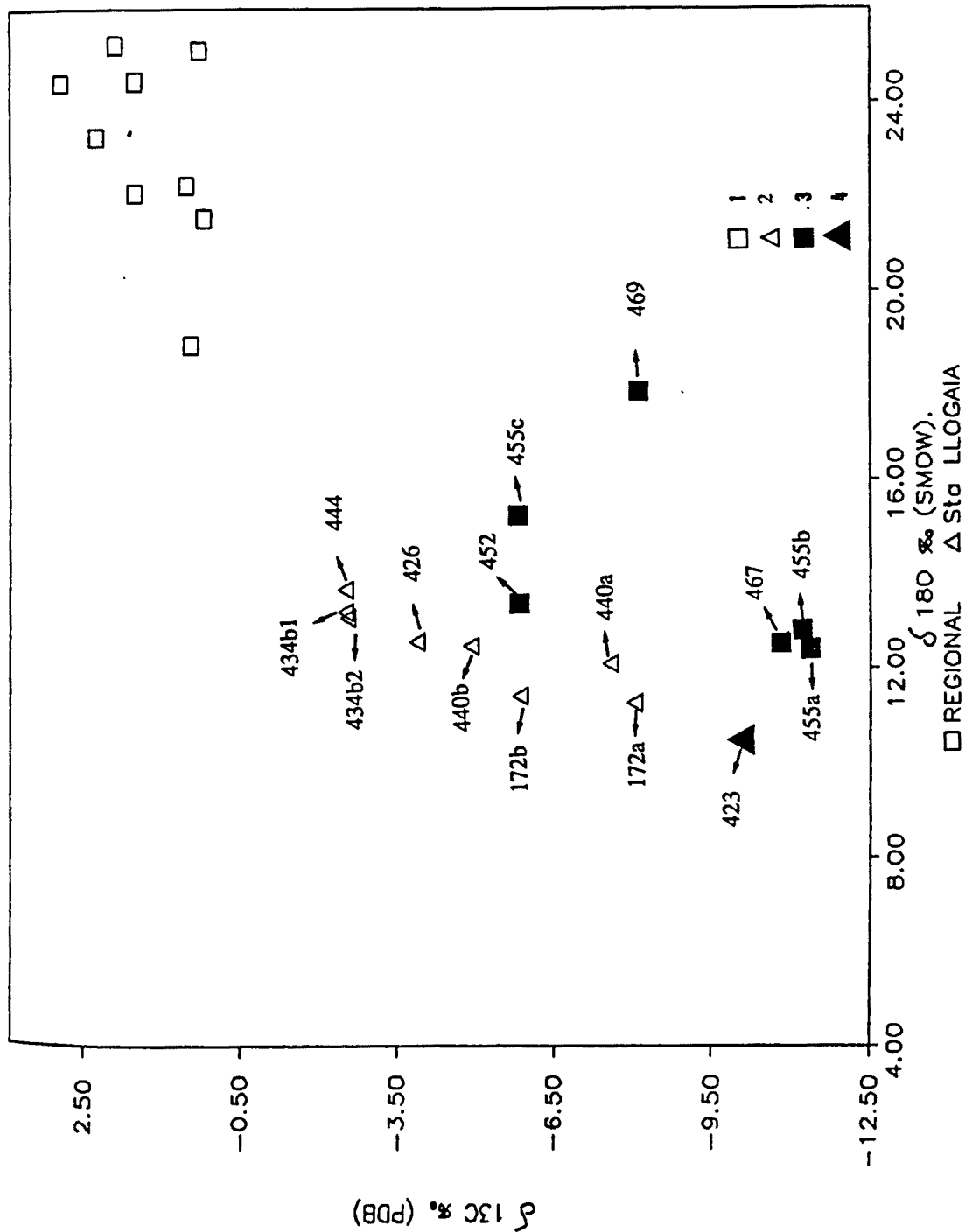


Fig. 8.3.22.- Diagrama $\delta^{13}C/\delta^{18}O$ on es mostren les composicions isotòpiques de les calcites i marbres del skarn de Sta. Llogaia junt amb les anàlisis dels carbonats regionals. Llegendra: 1) calcàries devonianes regionals, 2) marbres del skarn, 3) marbres amb grafit i 4) calcita geòdica del skarn massís.

voltant del tampó PPM (Fig. 8.3.20) desplaçant-se lleugerament cap a fugacitats de O_2 i S_2 més baixes.

8.3.4.7.- ELS ISOTOPS ESTABLES DE C i O.

S'han analitzat sistemàticament els marbres de l'encaixant dels skarn de Sta. Llogaia (Sk-414), així com les diferents calcites observades. La situació de les mostres es pot veure a la Fig. 8.3.21. Els valors isotòpics de les calcites es poden veure a la Taula 8.3.1.

Hem diferenciat tres tipus de mostres: les calcites intersticials de silicats, les calcites dels marbres propers al skarn i les calcites dels marbres allunyats dels skarns. Aquests darrers marbres sovint mostren la presència de grafit. Cal remarcar que molt proper a aquests marbres (<10 m) es troba el contacte amb un nivell de pelites negres riques en grafit.

La projecció en un diagrama $\delta^{13}C/\delta^{18}O$ de la composició isotòpica de les calcites junt amb la composició de les calcàries regionals, mostra el progresiu empobriment en $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ de les mostres des de la calcària regional fins a valors de $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ propers a -10 i 10 per mil respectivament (Fig. 8.3.22).

En la Fig. 8.3.22 hom pot observar que les mostres corresponents clarament al skarn presenten un empobriment molt lineal, mentre que les mostres dels marbres més allunyats mostren un empobriment en carboni molt superior al de les mostres del skarn. Aquest fet es degut a que per una mateixa temperatura el fraccionament CO_2 -grafit dona lloc a empobriments en $\delta^{13}C$ superiors que el fraccionament CO_2 -calcita.

En la Fig. 8.3.23 podem observar com les corbes teòriques d'intercanvi entre un fluid equilibrat amb un

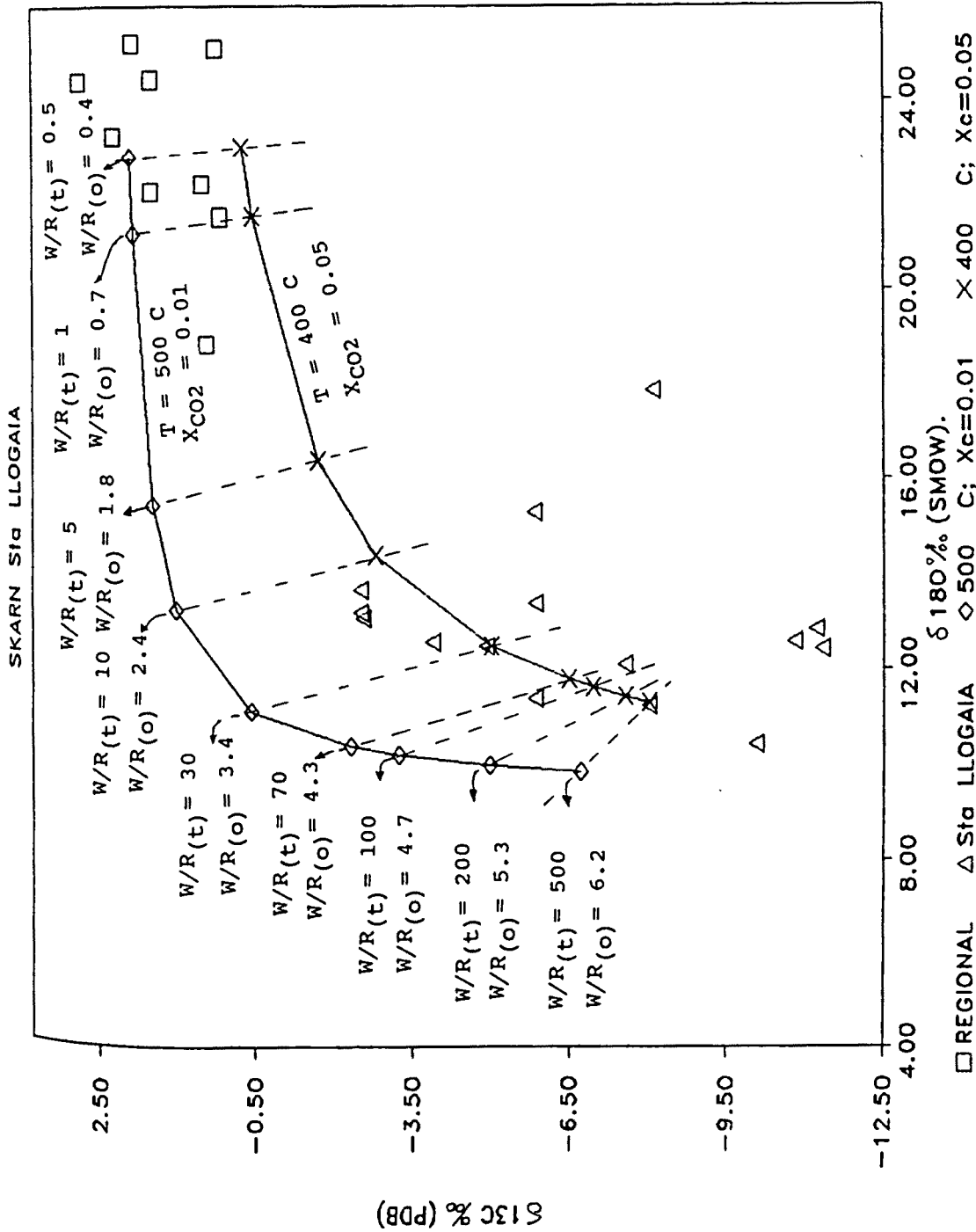


Fig. 8.3.23.- Projecció en un diagrama $\delta^{13}\text{C}/\delta^{18}\text{O}$ de les composicions isotòpiques de les calcites i marbres del skarn junt amb la corba modelitzada per un intercanvi isotòpic entre un fluid de composició isotòpica ($\delta^{13}\text{C} = -6$ per mil i $\delta^{18}\text{O} = +8$ per mil) i una calcària de composició ($\delta^{13}\text{C} = +1$ per mil i $\delta^{18}\text{O} = 22$ per mil) a 400 i 500 °C. $W/R(t)$ = relació aigua/roca sistema tancat, $W/R(o)$ = relació aigua/roca sistema tancat.

voltant del tampó PPM (Fig. 8.3.20) desplaçant-se lleugerament cap a fugacitats de O_2 i S_2 més baixes.

8.3.4.7.- ELS ISOTOPS ESTABLES DE C i O.

S'han analitzat sistemàticament els marbres de l'encaixant dels skarn de Sta. Llogaia (Sk-414), així com les diferents calcites observades. La situació de les mostres es pot veure a la Fig. 8.3.21. Els valors isotòpics de les calcites es poden veure a la Taula 8.3.1.

Hem diferenciat tres tipus de mostres: les calcites intersticials de silicats, les calcites dels marbres propers al skarn i les calcites dels marbres allunyats dels skarns. Aquests darrers marbres sovint mostren la presència de grafit. Cal remarcar que molt proper a aquests marbres (<10 m) es troba el contacte amb un nivell de pelites negres riques en grafit.

La projecció en un diagrama $\delta^{13}C/\delta^{18}O$ de la composició isotòpica de les calcites junt amb la composició de les calcàries regionals, mostra el progresiu empobriment en $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ de les mostres des de la calcària regional fins a valors de $\delta^{13}C$ i $\delta^{18}O$ propers a -10 i 10 per mil respectivament (Fig. 8.3.22).

En la Fig. 8.3.22 hom pot observar que les mostres corresponents clarament al skarn presenten un empobriment molt lineal, mentre que les mostres dels marbres més allunyats mostren un empobriment en carboni molt superior al de les mostres del skarn. Aquest fet es degut a que per una mateixa temperatura el fraccionament CO_2 -grafit dona lloc a empobriments en $\delta^{13}C$ superiors que el fraccionament CO_2 -calcita.

En la Fig. 8.3.23 podem observar com les corbes teòriques d'intercanvi entre un fluid equilibrat amb un

magma ($\delta^{13}\text{C} = -6$ i $\delta^{18}\text{O} = +8$ per mil) i els carbonats regionals ($\delta^{13}\text{C} = +2$ i $\delta^{18}\text{O} = +25$ per mil), calculades mitjançant les equacions R8.1.9 i R8.1.11 (capítol 8.1) a 400 i 500 °C, modelitzen l'empobriment en $\delta^{18}\text{O}$ de la calcita amb la relació aigua/roca major (mostra 423). Recordem que les calcites que marquen millor la temperatura són aquelles on predomina principalment el fraccionament amb el fluid metasomàtic (relació aigua/roca elevada). Aquesta temperatura es congruent amb la presència de wollastonita.

Cal remarcar que les anteriors corbes no modelitzen empobriments en carboni tant lleugers com els observats. Fet que com veurem més endavant es degut a la contaminació del fluid metasomàtic per carboni del grafit de la sèrie regional (capítol 8.9).

Mitjançant les equacions R8.1.13, R8.1.14 del capítol 8.1, podem generar les corbes d'intercanvi isotòpic entre la calcita en equilibri amb el fluid metasomàtic (calcita amb relació aigua/roca elevada) i el marbre regional. D'aquesta manera l'error produït per la manca de precisió en la determinació de la temperatura i la composició del fluid metasomàtic no influeixen la construcció de les corbes. A la Fig. 8.3.24 es poden observar que les corbes així construïdes limiten la fracció molar del fluid d'aquests skarns entre 0.05 i 0.1 (unicament hem tingut en compte les mostres sense grafit). A la Taula 8.3.2 es donen els valors de X_{CO_2} calculats mitjançant la equació R8.1.17. Cal recordar que aquests valors són merament orientatius i confirmen la baixa fracció molar de CO_2 del fluid metasomàtic ja passada de manifest per les paragènesis minerals existents.

L'intercanvi isotòpic, segurament tingue lloc, en sistema, com a mínim, parcialment obert, ja que en sistema tancat són necessàries relacions d'aigua/roca

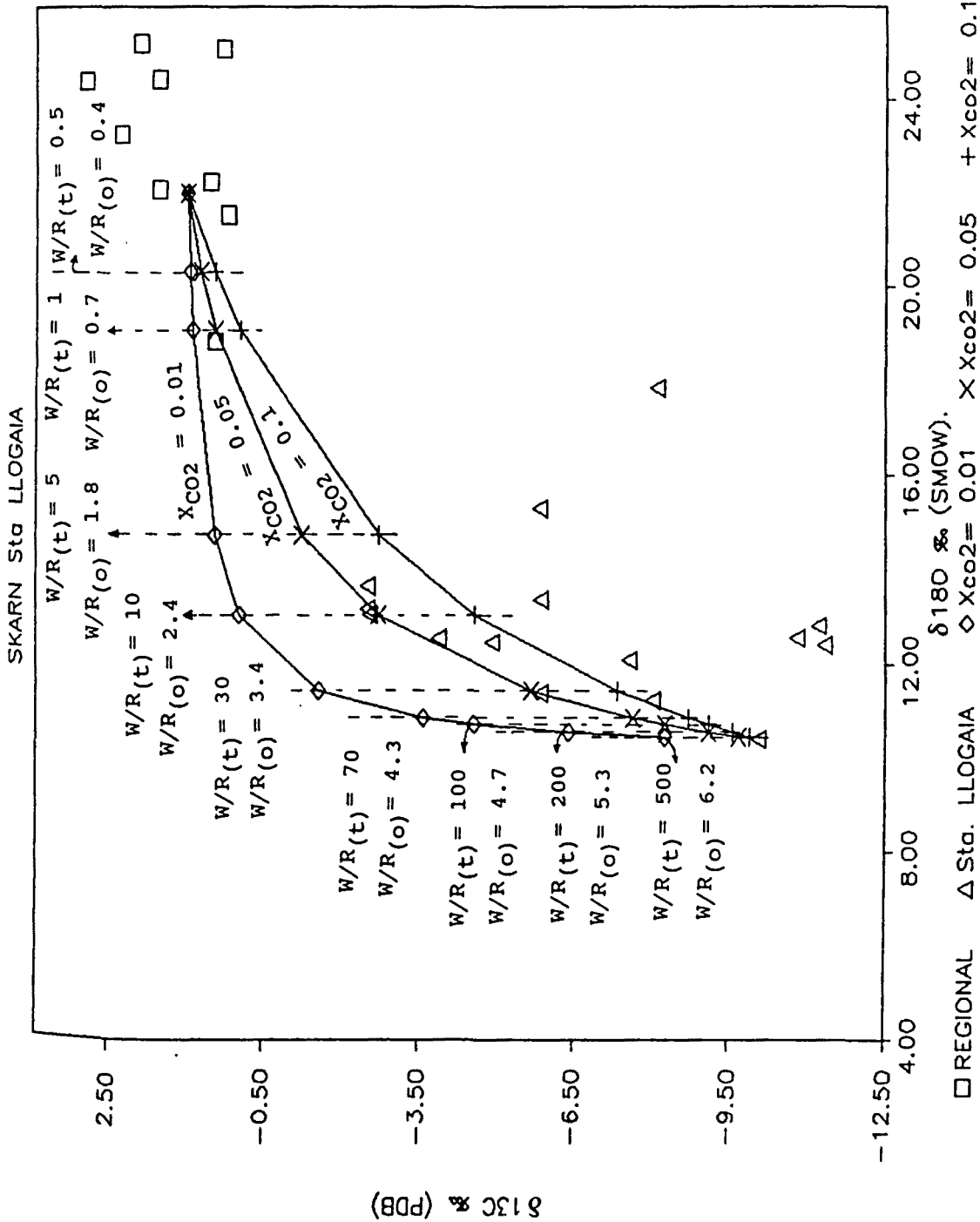


Fig. 8.3.24.- Corbes d'intercanvi isotòpic entre la calcita geòdica 423 i la calcària regional ($\delta^{13}C = +1$ i $\delta^{18}O = +22$ per mil) per diferents X_{CO2} . Observeu que les altres mostres del skarn son englobades per les corbes de $X_{CO2} 0.01$ i 0.05 .

Taula 8.3.2. Skarn de Sta. Llogaia. Fraccions molars de CO₂ calculades a partir de l'equació R8-1.17 (capítol 8.1).

MOSTRA	d ¹³ C	d ¹⁸ O	W/R TANCAT	W/R OBERT	X _{CO2}
172A	-8	11.3	35.7	3.6	0.12
172B	-5.9	11.4	31.8	3.5	0.05
426	-3.9	12.6	12.8	2.6	0.06
434B1	-2.5	13.2	9.4	2.3	0.04
434B2	-2.6	13.1	9.9	2.4	0.04
440A	-7.6	12.1	17.5	2.9	0.19
444	-2.5	13.7	7.5	2.1	0.06
452	-5.8	13.4	8.6	2.3	0.18

SKARN Sta LLOGAIA

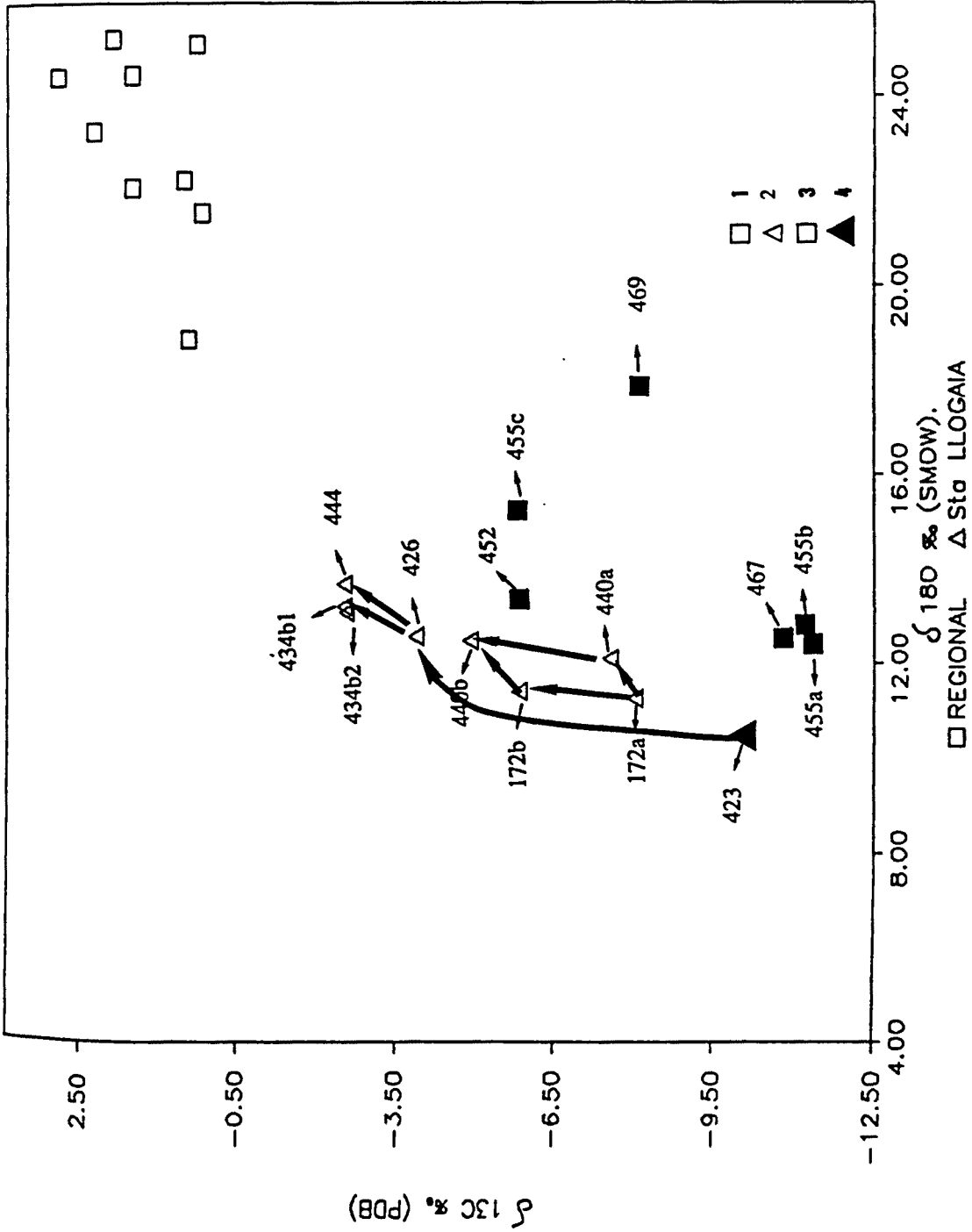


Fig. 8.3.25.- Diagrama $\delta^{13}\text{C}/\delta^{18}\text{O}$, on es mostra el sentit de disminució de la relació aigua/roca de entre les diferents mostres correlables del skarn.

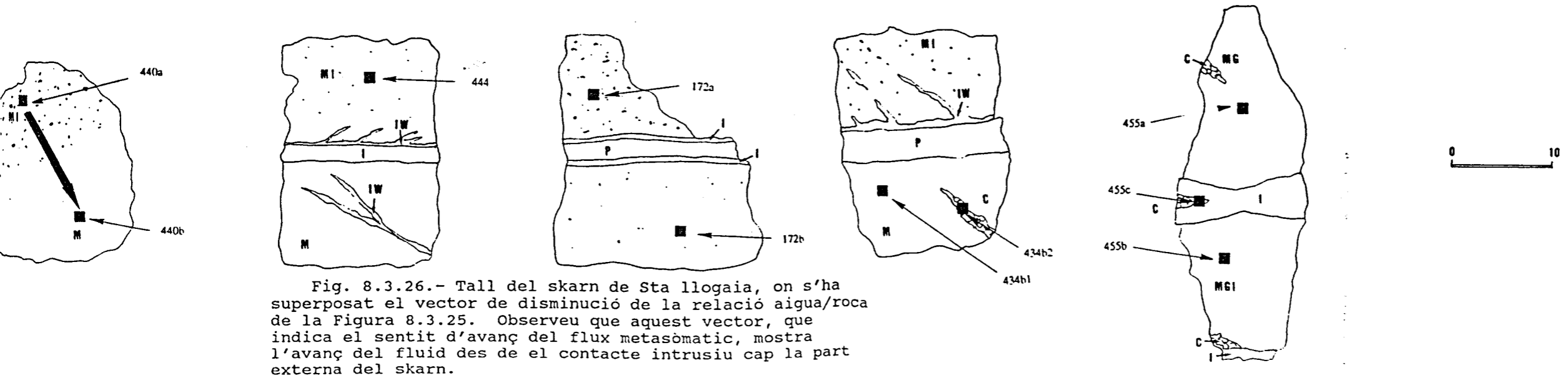
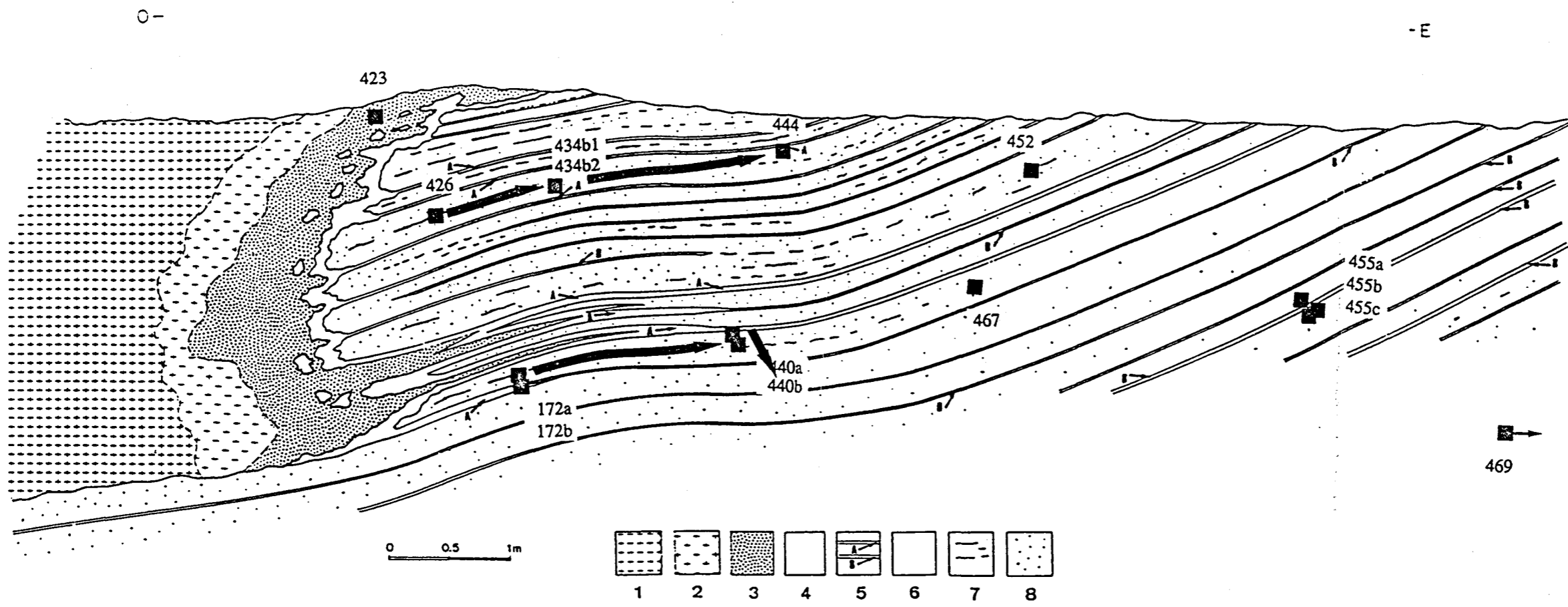


Fig. 8.3.26.- Tall del skarn de Sta llogaia, on s'ha superposat el vector de disminució de la relació aigua/roca de la Figura 8.3.25. Observeu que aquest vector, que indica el sentit d'avanç del flux metasòmatic, mostra l'avanç del fluid des de el contacte intrusiu cap la part externa del skarn.

molt elevades per generar empobriments en ^{13}C i ^{18}O com els observats (Fig. 8.3.23, Taula 8.3.2).

La relació aigua/roca de les diferents calcites analitzades (Taula 8.3.2), mostra una disminució de la relació aigua/roca desde el contacte intrusiu cap la part externa del skarn. En la Fig. 8.3.25 es mostra en un diagrama $\delta^{13}\text{C}$ i $\delta^{18}\text{O}$, el sentit de disminució de la relació aigua/roca entre les diferents mostres correlables. Si trasladem aquest vector de disminució de la relació aigua/roca sobre el propi skarn, ens mostrarà la component del sentit d'avanç del flux metasomàtic. D'aquesta manera a la Fig. 8.3.26 hom pot observar que el flux metasomàtic avança des de el contacte intrusiu amb la granodiorita cap a les parts més externes del skarn.

Hom pot observar que les relacions aigua/roca presenten poques variacions seguint la direcció de les juntes d'estratificació. Per contra les calcites mostrejades perpendicularment a les juntes d'estratificació mostren una disminució brusca de la relació aigua/roca cap a les part més allunyades de les vetes metasomàtiques. Aquest fet ens possa de manifest l'existència de dos tipus de flux del fluid: un flux canalitzat seguint les juntes d'estratificació, i un flux difós a través de la porositat del marbre. També ens possa de manifest la major importància del flux canalitzat sobre el difós. Aquesta observació esta d'acord amb el desenvolupament preferencial del skarn seguit les juntes d'estratificació.

Cal remarcar que els marbres amb disseminació d'idocrasa presenten relacions aigua/roca molt superiors als marbres sense idocrasa. Aquest fet confirma que la disminució de la idocrasa intersticial dels marbres cap a la part externa del skarn, correspon

a un fenomen metasomàtic i no pas a una variació composicional del marbre.

8.3.5.- CONCLUSIONS.

Els skarns d'idocrasa-wollastonita mineralitzats en scheelita, són skarns proximals desenvolupants en el mateix contacte intrusiu. Les juntes d'estratificació dels marbres són utilitzades com a conductes preferencials de circulació dels fluids.

En base a l'importància de la zona de l'hedenbergita podem classificar aquests skarns com a skarns reduïts (Einaudi et al, 1981).

En el skarn de Sta. Llogaia Ti, Zr, Mg, La i Ce actuen principalment com a components inerts, presents a les juntes d'estratificació de la roca abans del desenvolupament del skarn. Mentre que el Si, Fe, Mn, Al, W i Cu són aportats externament al sistema. Per altra banda P, K, Sr, Ba, Rb, Zn, Pb, Ni i Y són rentats durant la formació del skarn. Cal remarcar que els skarns Sk-404 i Sk-171, en l'estadi mineralitzant té lloc la deposició d'esfalerita i galena, i per tant que el Zn i Pb, al llarg de la formació del skarn també poden ser aportats al sistema.

L'estudi geoquímic ha permès precisar el pas el fluid metasomàtic a través del marbre, els elements que assenyalen millor el pas del fluid són l'augment del Mn i el W i la pèrdua de P, K i Ba.

L'espectre de terres rares normalitzat als condrits, també assenjala el pas del fluid metasomàtic, aquest es palesa amb formació d'una anomalia negativa en Eu. Aquesta anomalia esta relacionada amb la disminució del contingut en P, al pas del fluid. Al contrari, el endoskarn i la facies leucogranítica de

contacte mostren una lleugera anomalia positiva en europi, deguda a la presència abundant d'apatita.

La relativa riquesa de l'endoskarn i facies proximes en Eu, pot reflectir la riquesa relativa en Eu del fluid, en aquest cas l'apatita reproduiria aleshores un caracter del fluid. D'altra banda aquest enriquiment relatiu en Eu, és significatiu d'una f_{O_2} elevada del mitja en el que cristal·litza l'apatita.

Han estat observades dues generacions de calcita, una primera associada a la formació d'hedenbergita, i una segona associada a paragenesis tardanes de Q + Cc + Act.

La formació de la columna metasomàtica d'aquests skarns, es forma a una temperatura superior als 500 °C, el fluid metasomàtic era pobre en CO₂ ($X_{CO_2} < 0.03$) i llur f_{O_2} evoluciona cap a condicions més oxidants (>QFM).

La mineralització metal·lica es troba associada a paragenesis tardanes de temperatura compresa entre 450-350 °C, el fluid mineralitzant també fou pobre en CO₂ ($X_{CO_2} < 0.01$) i amb una f_{O_2} lleugerament inferior al tampó PPM.

El fluid evoluciona mitjançant un flux principalment canalitzat des del contacte intrusiu cap les parts més externes. També existeix un flux difós a través del marbre amb una importància menor.

El metall amb un interès econòmic major d'aquesta tipologia de skarn es el wolframi, el contingut en Cu, Zn i Pb pot ser localment important (SK-404 i Sk-171). El contingut en or es molt baix (< 1 ppm).

Aquesta tipologia de skarn presenta grans similituds amb el skarns calcics proximals amb tungstè

definites per Kwak (1987). Per altra banda presenta similituts amb el skarn de Salau (Soler, 1977; Soler, 1980), al igual que en aquest skarn la scheelita mostra dues generacions, una primera lligada a l'hedenbergita i una segona associada a la paragènesi quars + calcita + actinolita.

Toulhoat (1982), observa a Lisse d'Embarre (massís del Querigut), un skarn de petita entitat molt assemblat al descrit aquí. En aquest, el skarn es desenvolupa en condicions secants amb l'estratificació i la mineralització de scheelita es troba associada a una paragènesi de quars + calcita + actinolita que reemplaça un front d'hedenbergita anterior.

Foto 8.2.16.- Mostra de mà del skarn Sk-339, on es pot observar la riquesa en wollastonita (W) de la zona del mateix nom.

Foto 8.3.1.- Veta de wollastonita associada a idocrasa de color vert (Idv). Observeu el desenvolupament de les vetes de wollastonita segons les juntes d'estratificació, així com l'associació amb la idocrasa verda. Llegenda: W- wollastonita, Idv- Idocrasa verda, Idm- idocrasa marró, P- prehnita, Mb- marbre.

Foto 8.3.2.- Detall al microscòpi, d'una veta metasomàtica mostrant la zona de la wollastonita (W), de la idocrasa (g) i el reemplaçament d'aquesta per la hedenbergita (h).

Foto 8.3.3.- Contingut en Ti i Al al llarg d'un cristall d'idocrasa del skarn de Sta. Llogaia (Sk-414). Observeu la relació inversa entre aquests dos elements.

Foto 8.3.4.- Cristall zonat d'idocrasa (Id). Observeu la variació de birrefringència, des de colors grisos de 1er ordre en el nucli, fins a colors blau berli i marró anòmals a la vora.

Foto 8.3.5.- Detall de la mateixa mostra que la Foto 8.3.5, sota llum ultravioleta d'ona curta. Observeu la situació de la scheelita (sch) junt a l'hedenbergita.

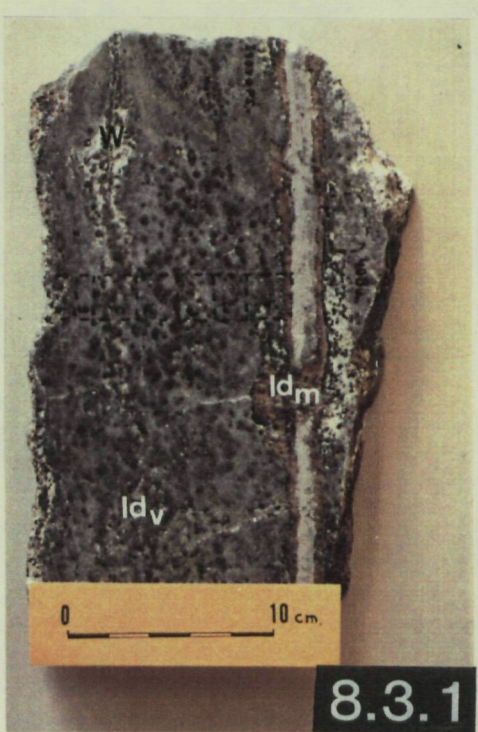
Foto 8.3.6.- Detall d'un sector del skarn bandat (Sk-414). Observeu la zonació metasomàtica marbre - Wollastonita (W) - Idocrasa marró (M) - Hedenbergita (H), així com la formació de vetes de idocrasa verda (I).

Foto 8.3.7.- Detall d'un sector del skarn bandat desenvolupat sobre el marbre, entre dos antics nivells pelitics actualment transformats a prehnita. Observeu el reemplaçament de l'associació wollastonita + idocrasa per l'hedenbergita. Llegenda: wollastonita + idocrasa verda i marró (W+I), hedenbergita (Hd), idocrasa marró (M), prehnita (P).

Foto 8.3.8.- Detall de la mateixa mostra que la Foto 8.3.7, sota llum ultravioleta d'ona curta. Observeu la situació de la scheelita principalment associada a l'hedenbergita



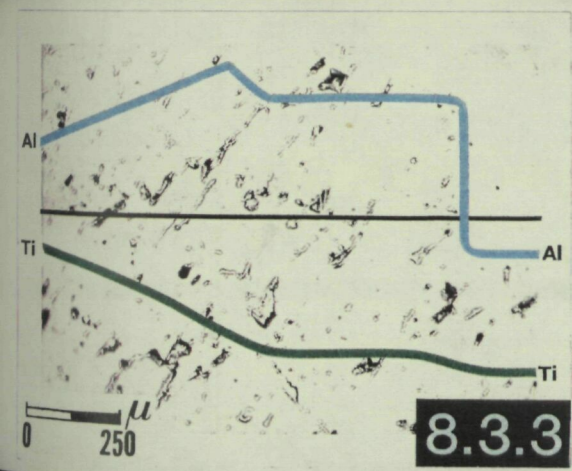
8.2.16



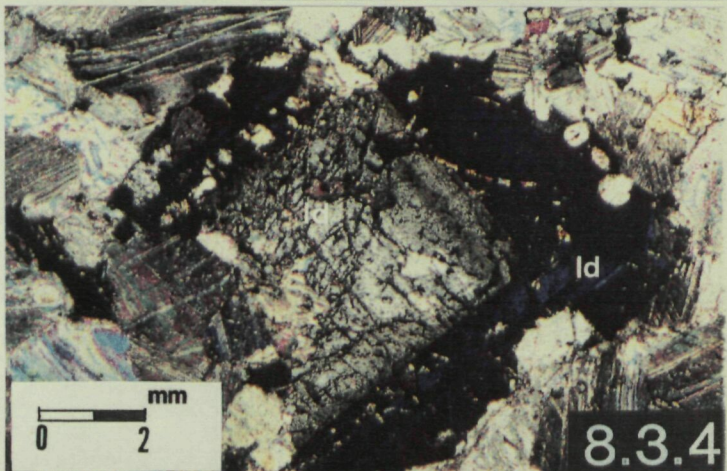
8.3.1



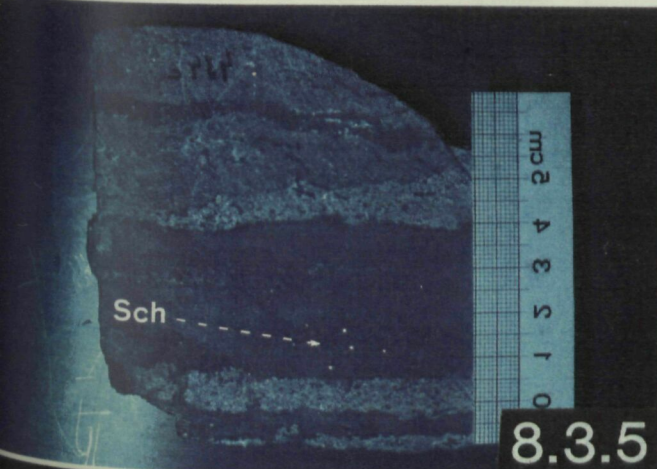
8.3.2



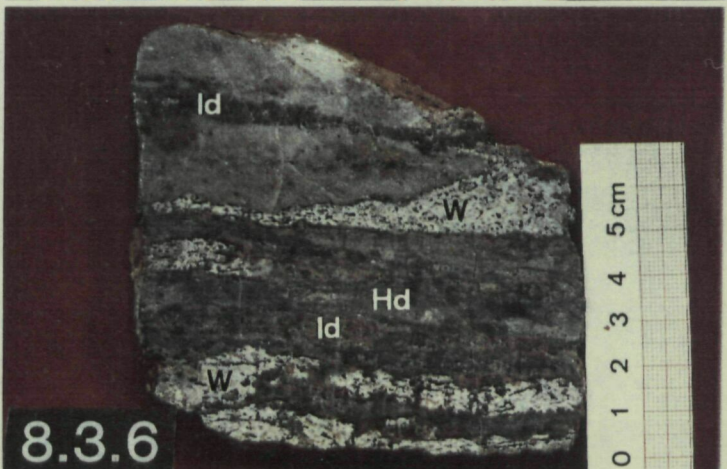
8.3.3



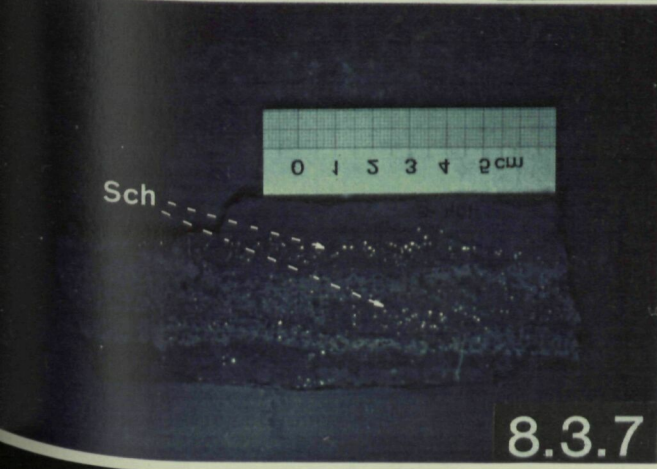
8.3.4



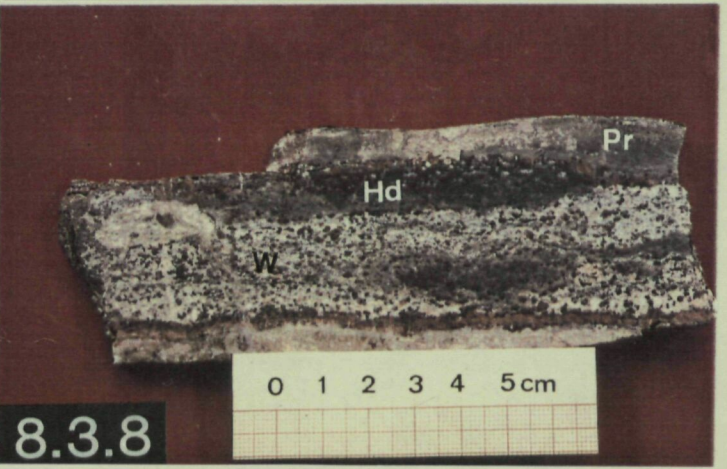
8.3.5



8.3.6



8.3.7



8.3.8

8.4.- SKARNS D' HEDENBERGITA.

8.4.- SKARNS D'HEDENBERGITA.

Els skarns d'hedenbergita són skarns proximals que es desenvolupen en el contacte entre la granodiorita i les calcàries devonians encaixants. Són skarns de mineralogia senzilla on l'hedenbergita constitueix prop del 90 % del skarn.

Han estat reconeguts 6 skarns d'hedenbergita, tots ells situats al Serrat de la Tuta (Sk-9, Sk-413, Sk-478, Sk-808, Sk-480, Sk-124). També han estat observats dos skarns de mida petita (~1 m) en el sector de Sta. Llogaia (Sk-411, Sk-401) (Figs. 8.4.1, 8.4.2).

8.4.1.-CARACTERITZACIO MORFOLOGICA.

Aquests skarns és situen en el contacte intrusiu entre els marbres devonians i la granodiorita. Geomètricament els skarns es desenvolupen en situacions en que el contacte intrusiu talla als plans d'estratificació dels marbres, facilitant aquests les vies de circulació dels fluids metasomàtics (Fig. 8.4.3).

El skarn Sk-413 és situa a la vessant sud del Serrat de la Tuta, aquest skarn es desenvolupa en el mateix contacte intrusiu entre els marbre i la granodiorita rica en enclavaments microgranuts. El contacte intrusiu és verticalitzat i segueix una direcció N-S (Fig. 8.4.3).

El skarn Sk-124 és situa a la vessant nord del serrat de la Tuta, sobre el poble de Castellnou de Carcolse. Es desenvolupa en el contacte intrusiu entre la granodiorita biotítica - hornblèndica i els marbres devonians (Fig. 8.4.4). Antigament aquesta mineralització va ser objecte de labors d'exploració,



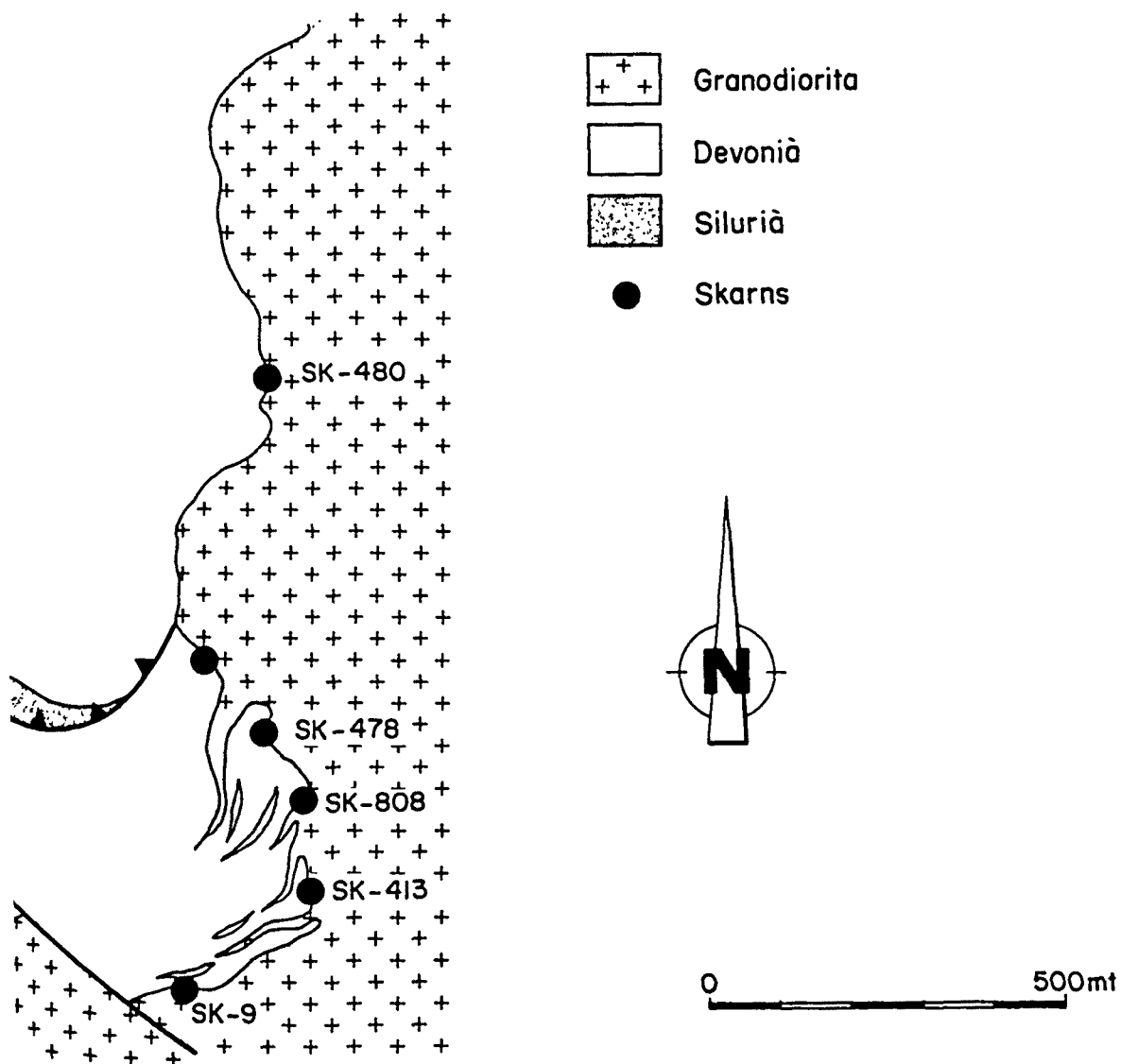


Fig. 8.4.2.- Esquema geològic detallat de la vessant SE del Serrat de la Tuta, on es mostra la situació dels skarns d'hedenbergita del sector.

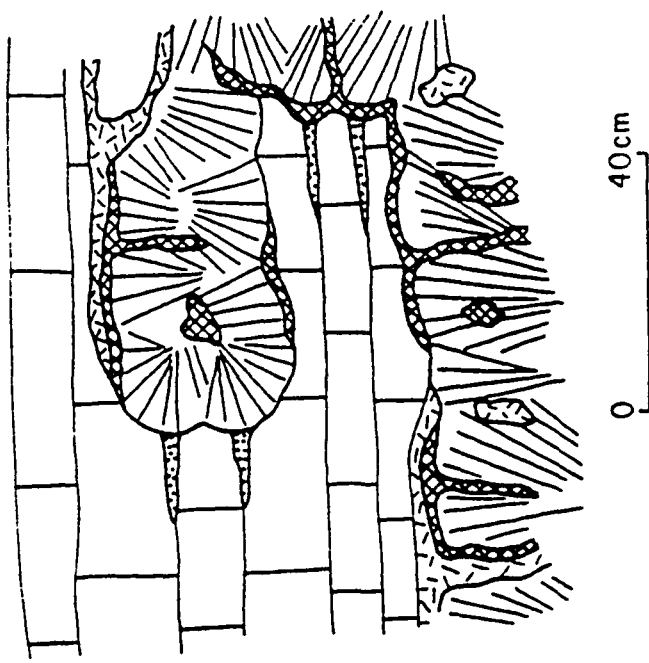
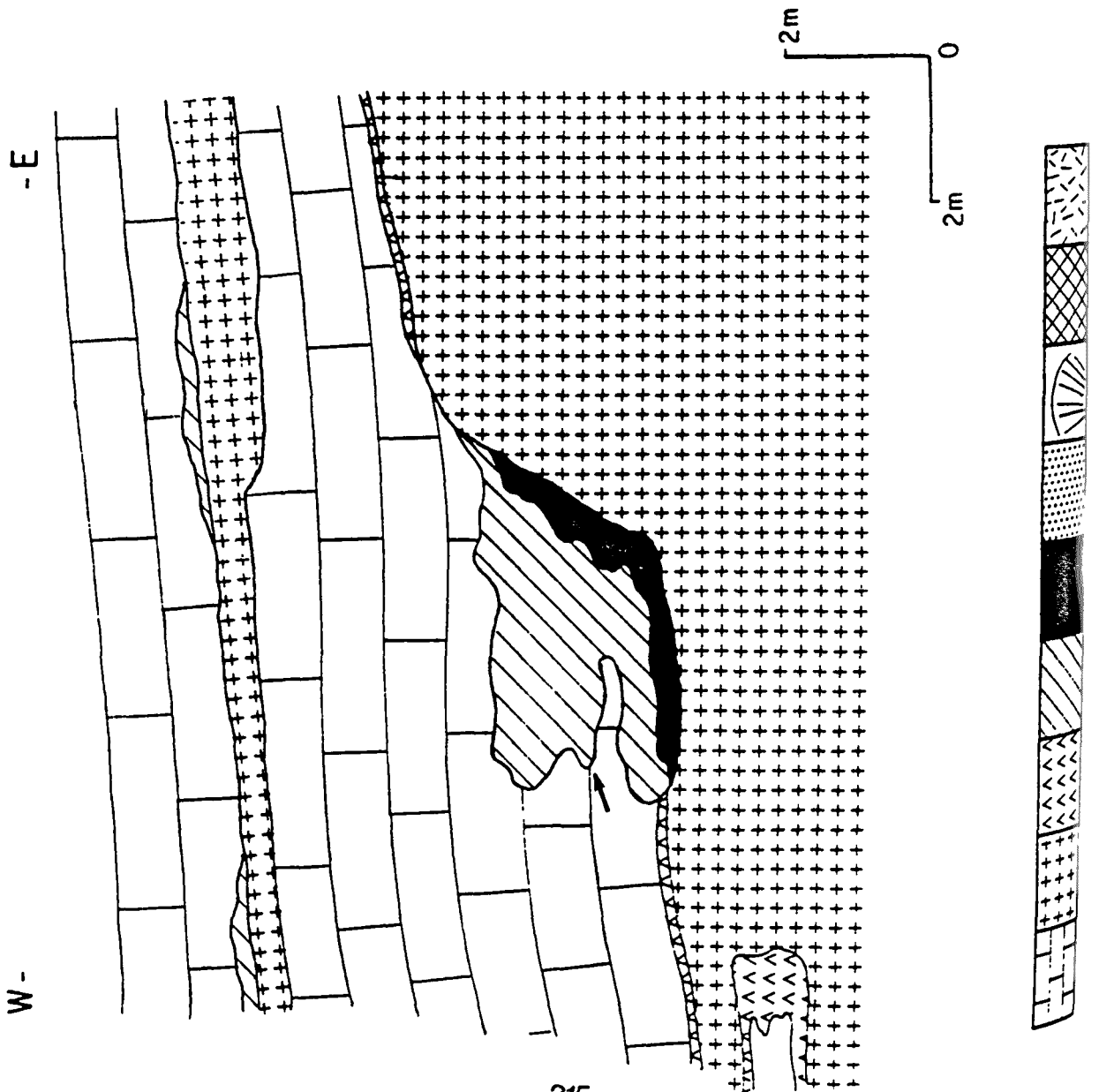


Fig. 8.4.3.- A) Tall geològic del skarn Sk-413, Observeu el desenvolupament preferent en el sector en que el contacte intrusiu talla amb un angle gran les juntes d'estratificació. B) Detall del sector senyalat a la figura A. Observeu el reemplaçament de l'hedenbergita pel granat, i posteriorment per la paragénesi quars + calcita. Llegendes: 1) Marbres, 2) granodiorita, 3) Skarn de difusió, 4) Zona de l'hedenbergita, 5) Zona de l'epidota, 6) paragénesi quars + calcita (I), 7) paragénesi quars + calcita (II), 8) agregats radials.

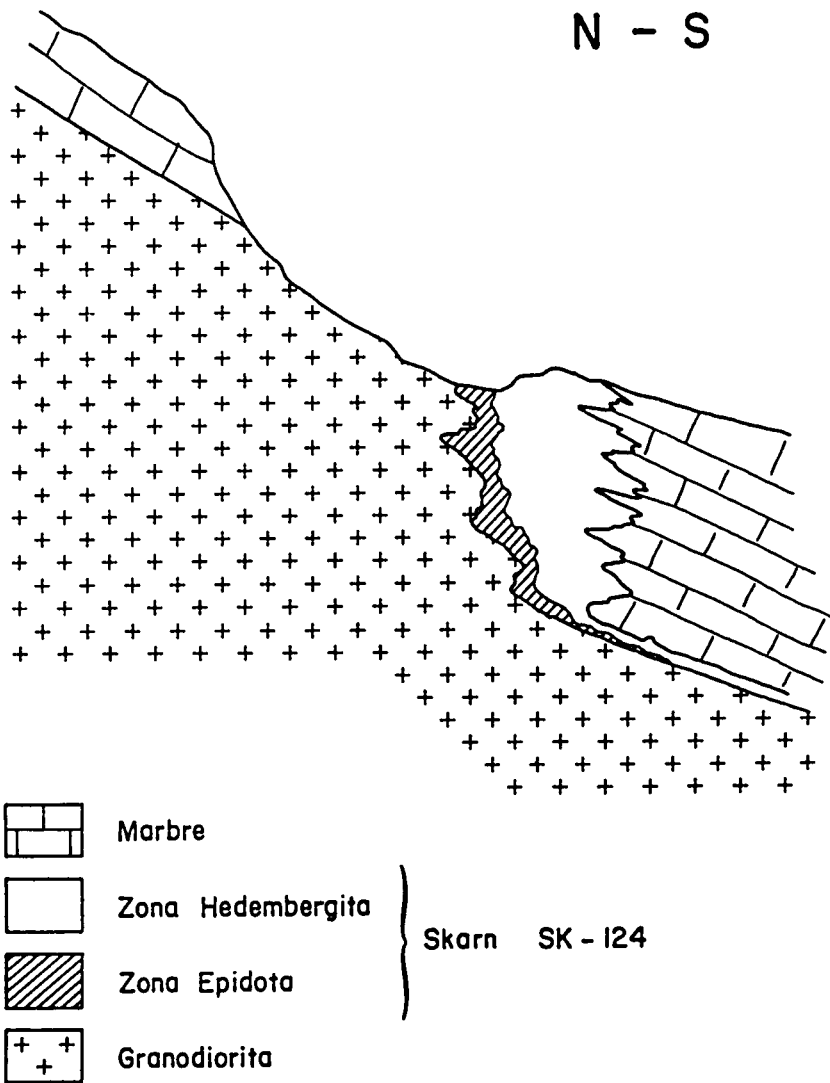
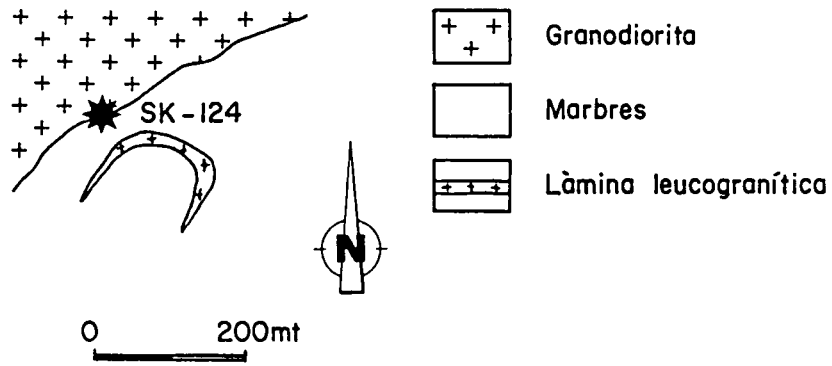


Fig. 8.4.4.- A) Esquema geològic de les rodalies del skarn d'hedenbergita Sk-124 del serrat de la Tuta. Observeu la presència de làmines de granodiorita intruïdes paral·lelament a l'estratificació dels marbres. B) Tall geològic del skarn SK-124. Observeu el desenvolupament del skarn en el sector on el contacte intrusiu talla amb un angle gran les juntes d'estratificació dels marbres.

amb la realització d'una cata de 4 m. El volum de material extret no ultrapassa els 50 m³. Les rodalies de la mineralització presenta un important desenvolupament de sòl i vegetació que no ha permès estudiar la continuïtat de la mineralització. Malgrat tot, en l'aflorament de la cata (Fig. 8.4.4), la mineralització sembla tenir poca importància i va ser potser l'existència d'alteracions supergèniques de coure les que degueren portar antigament a la seva exploració. Segons dades de la població del poble de Castellnou de Carcolse, l'exploració d'aquesta mineralització es deu remontar a començaments de segle.

El Skarn Sk-9 és situa prop del skarn Sk-413, està relacionat amb una làmina granodiorítica que intrueix entre els marbres devonians, a uns 5 m per sobre del contacte intrusiu (Fig. 8.4.5). La làmina granodiorítica, generalment és paral·lela a les juntes d'estratificació dels marbres, i sols quan els plans d'estratificació són tallats pel contacte intrusiu es desenvolupa el skarn (Fig. 8.4.5). La geometria del skarn és molt complexa, arribant a quedar un bloc mètric de calcàries envoltat per la làmina granodiorítica. Malgrat la presència d'un contacte força irregular amb nombrosos entrants, el skarn es desenvolupa quan la làmina granodiorítica comença a paral·lelitzar-se amb l'estratificació. En aquest indret la pràctica totalitat de la granodiorita és transforma en endoskarn, restant tant sols petits sectors relictos.

El skarn 478 és desenvolupa en una làmina granodiorítica de 0.4 m de potència que intrueix entre els marbres devonians, a uns 12 m per sobre del contacte intrusiu del batòlit i els marbres. Lateralment la làmina s'arrela en el batòlit. A la part més allunyada d'aquest, quan la làmina s'acaba, es desenvolupa el skarn. Per sota d'aquesta làmina

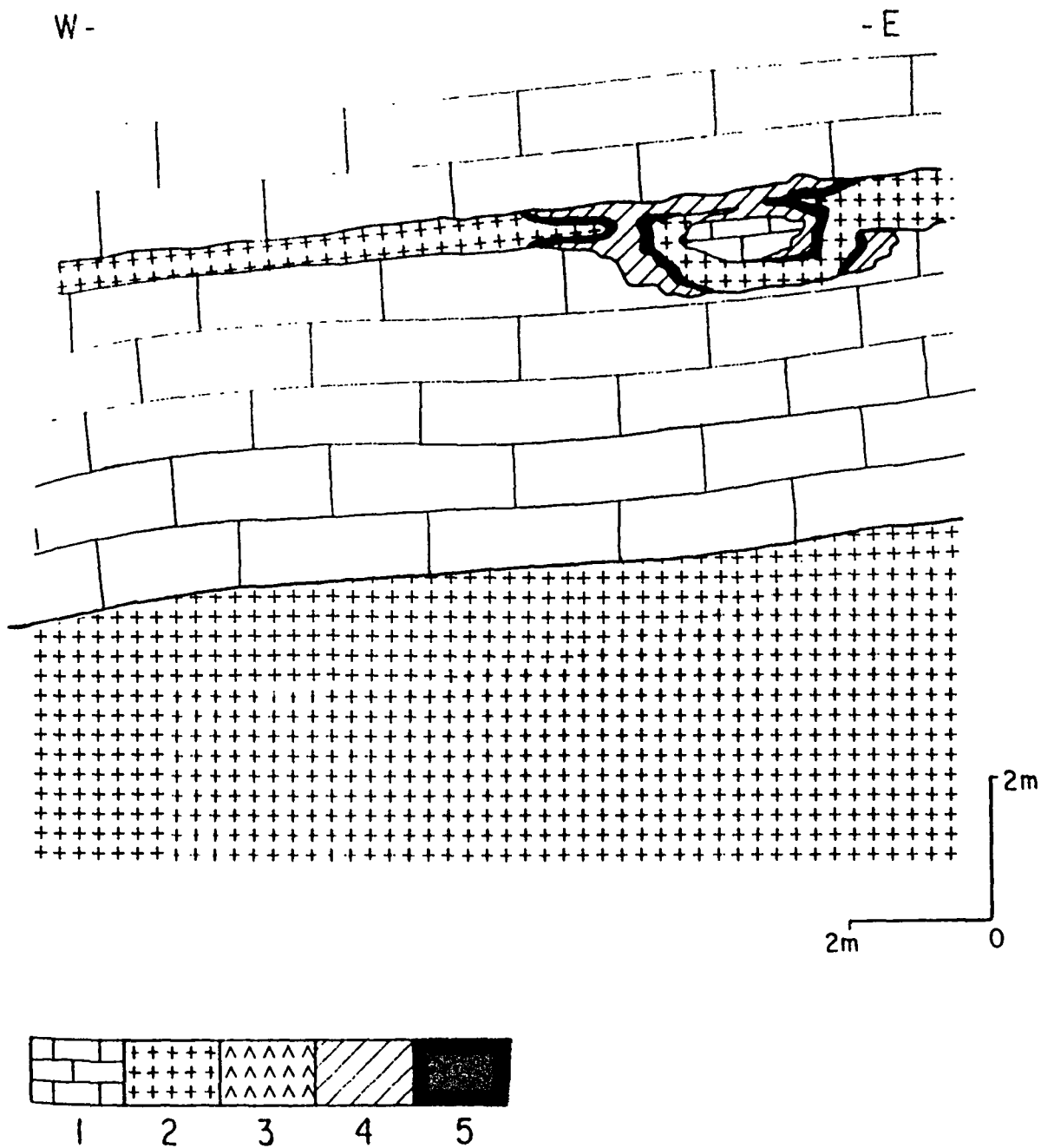


Fig. 8.4.5.- Tall geològic del Skarn d'hedenbergita SK-9. Observeu el desenvolupament del skarn en una làmina granítica situada uns 5 m per sobre del contacte intrusiu amb el massís granític.

intrusiva, existeix un altra làmina granodiorítica de 6 m de potència en la que no hem observat fenòmens de skarnificació importants (Fig. 8.4.6).

Els altres skarns d'hedenbergita estudiats (Sk-480, Sk-808, Sk-411, Sk-401) presenten característiques morfològiques idèntiques a les descrites anteriorment (Fig. 8.4.7).

8.4.2.-CARACTERITZACIO MINERALOGICA I TEXTURAL.

Macroscòpicament aquests skarns són masses d'agregats radials de cristalls hipidiomòrfics d'hedenbergita (Foto 8.4.1), desenvolupats sobre el marbre (exoskarn). Entre el marbre i l'hedenbergita localment és troba la zona del granat, representada per una banda centimètrica de granat de color vert. Entre aquest i la calcària, localment és situa una zona de quars + calcita + sulfurs + scheelita (Fig. 8.4.3).

Tant la zona del granat, com la del quars + calcita, són paral.leles als acabaments arrodonits dels agregats radials d'hedenbergita. (Fig. 8.4.3).

Entre la zona de l'hedenbergita i la granodiorita és situa la zona de l'epidota. Aquesta zona és de mida decimètrica i morfologia irregular.

Per relacions texturals que veurem seguidament, l'ordre de successió de les diferents zones el podem esquematitzar de la següent manera:

Z. Hedenbergita ---- Z. Granat ---- Z. Epidota --- Z. Quars + Calcita.

L'ordre de successió mineral pot observar-se a la Figura 8.4.12.