

El meteorito de Reliegos (León). Estudio mineralógico y petrológico

R.P. Lozano⁽¹⁾, T. Martín Crespo⁽²⁾ y R. González Laguna⁽³⁾

(1) Museo Geominero (IGME). Ríos Rosas, 23. 28003 Madrid
E-mail: r.lozano@igme.es

(2) Dpto. Matemáticas y Física Aplicadas y Ciencias de la Naturaleza, ESCET
Universidad Rey Juan Carlos. Tulipán s/n, 28933 Móstoles-Madrid
E-mail: t.martin@escet.urjc.es

(3) C.A.I. de Geocronología y Geoquímica Isotópica. Universidad Complutense de Madrid
Ciudad Universitaria s/n, 28040 Madrid
E-mail: ruthgon@geo.ucm.es

RESUMEN

El presente estudio se ha llevado a cabo en el fragmento del meteorito de Reliegos perteneciente a la colección del Museo Geominero (IGME), el cual no ha sido referenciado hasta el momento en catálogo alguno. El meteorito de Reliegos es una condrita ordinaria L5. Los cóndrulos están incluidos en una matriz de grano fino que consiste predominantemente en olivino y ortopiroxeno, con clinopiroxeno, troilita, apatito y mesostasia de composición feldespática como accesorios. La fase metálica es predominantemente kamacita con taenita subordinada y trazas de Cu nativo. La composición de Reliegos es comparable con otras condritas L5, salvo por un contenido en Cr sensiblemente más bajo. Se ha identificado un cóndrulo rico en Cr con un zonado concéntrico tanto en su composición química como mineralógica, y que está principalmente compuesto de cromita y plagioclasa, con cantidades menores de merrillita, y de ilmenita rica en Mg y V.

Palabras clave: Condrita, cóndrulo rico en Cr, Cu nativo, L5, Reliegos

The Reliegos meteorite (León). Mineralogical and petrological study

ABSTRACT

This study has been carried out on the specimen of the Reliegos meteorite located at the Museo Geominero (IGME) that has not been previously recorded in any catalogue. The Reliegos meteorite is an L5 ordinary chondrite. The chondrules are embedded in a fine-grained matrix that consists predominantly of olivine and orthopyroxene, with accessory clinopyroxene, troilite, apatite, and a mesostasis of feldspar composition. The metal phase is predominantly kamacite with subordinate taenite, and traces of native Cu. The Reliegos' bulk composition compares well with other L5 chondrites, except for a distinctly lower Cr content. A Cr-rich chondrule has been identified; shows a concentric mineral and chemical zoning and is composed mainly of chromite and plagioclase, with minor amounts of merrillite, and Mg,V-rich ilmenite.

Key words: Chondrite, Cr-rich chondrule, L5, native Cu, Reliegos

Introducción

La condrita ordinaria Reliegos L5 es un fragmento correspondiente a la última caída confirmada de un meteorito en España. El evento se produjo en Reliegos, provincia de León (42°29'N, 5°21'O) el 28 de diciembre de 1947, hacia las 8:30 horas, recuperándose unos 17,3 kilogramos de material. Dicho material se encuentra en la actualidad distribuido entre distintas colecciones: 10.109 g en el Museo Nacional

de Ciencias Naturales, Madrid (MNCN) (King *et al.*, 1986; Muñoz-Espadas *et al.*, 2002a); 620 g en el Museo Geominero (IGME, Madrid); 246 g en el Museo Americano de Historia Natural, Nueva York (AMNH); 61 g en el Instituto Max-Planck (MPI), Mainz; 33 g en la Universidad del Estado de Arizona, Tempe (ASU); 26 g en el Museo Nacional de Estados Unidos, Washington (USNM); y 31 g en la Colección DuPont, Palatine, Illinois (Grady, 2000). Además, poco después de la caída se depositó un fragmento en el

Instituto Nacional de Enseñanza Media de León (España) (Gómez de Llarena y Rodríguez Arango, 1950), actualmente en paradero desconocido.

Esta condrita ha recibido poca atención en comparación con otros meteoritos españoles, y apenas aparece publicada más información mineralógica y composicional que la necesaria para su clasificación (Mason, 1963; Casanova *et al.*, 1987; McCoy *et al.*, 1990). Recientemente, se han publicado 2 trabajos preliminares sobre esta condrita, uno realizado en el ejemplar del MNM (Muñoz Espadas *et al.*, 2003) y otro en el ejemplar del Museo Geominero, objeto del presente estudio en detalle (Lozano y Martín Crespo, 2003). Es por ello que se ha considerado necesario realizar un estudio más profundo, que incluyera tanto un estudio mineralógico como geoquímico y textural en detalle. Además, aunque el fragmento del Museo Nacional de Ciencias Naturales se encuentra catalogado (Grady, 2000), el fragmento depositado en el Museo Geominero no se ha registrado, hasta el momento, en catálogo alguno.

Pocos años después de su caída, Gómez de Llarena y Rodríguez Arango (1950), presentaron un trabajo donde describieron los primeros datos concernientes a la caída: testimonio de los testigos presenciales, examen del cráter de impacto, dirección de la trayectoria, fenómenos acústicos asociados, etc. Además incluyeron una descripción petrográfica acompañada de algunos análisis químicos preliminares, clasificando el meteorito como una condrita olivino-enstatítica. Algunos de sus resultados, como los altos contenidos en Ni y Co fueron considerados dudosos en trabajos posteriores (Graham *et al.*, 1985). Posteriormente fue clasificado como tipo L, en función de la composición media del olivino (Fa_{23} ; Mason (1963)). La clasificación cambió hasta el tipo H5 en el trabajo de Casanova *et al.*, (1987), a partir de estudios petrográficos y de microsonda electrónica aunque se trata de un error tipográfico de los autores (Casanova *com. pers.*). Por último, McCoy *et al.*, (1990) presentaron un breve estudio mineralógico y textural, y realizaron los análisis químicos imprescindibles para su clasificación: composición media de olivino de $Fa_{23,7}$ y composición media del piroxeno pobre en Ca de $Fs_{19,9}$. Estos datos, junto con el contenido observado de Fe,Ni metal (6,1% en peso) reforzó la clasificación de Reliegos como una condrita ordinaria de tipo L. En el mencionado trabajo también se analizó un único piroxeno rico en Ca de composición $Wo_{9,8}$. Tales características confirman la clasificación como tipo petrológico 5, que también está indicada por el contenido en wollastonita del piroxeno pobre en Ca (1,3% molar), siguiendo los criterios de Scott *et al.* (1986).

Análisis de roca total

Para las determinaciones analíticas se ha utilizado una muestra de 1.157 mg. En la muestra pulverizada de roca total se emplearon las siguientes técnicas ubicadas en los Laboratorios del IGME en Madrid:

- *Fluorescencia de Rayos X*: se ha llevado a cabo para la determinación de los elementos mayores, excepto Na y S. La fusión de la muestra se realiza con tetraborato de Litio en perladora Perlex'3, y las medidas se realizaron en un equipo Philips PW-1404, con un tubo de Sc/Mo.
- *Absorción Atómica*: se ha utilizado para el análisis elemental de Na. La fusión de la muestra se realiza con metaborato de Litio, y la medida se realizó en un equipo Varian FS-220.
- *ELTRA*: para análisis del S en muestra de roca total.
- *ICP-OES*: para análisis de Ni y Co, con el equipo de ICP Thermo Jarrell Ash modelo ICAP-61.

Los resultados de química de roca total presentados en este trabajo (Tabla 1) se ajustan bien al del rango composicional de las condritas L5 (Jarosewich, 1990) excepto para el Cr, cuyo contenido es significativamente más bajo que los valores hasta ahora registrados para este grupo condritico.

Petrografía

Se han estudiado dos láminas delgadas pulidas

	Reliegos	Condritas L5*		
		media	mínimo	máximo
SiO ₂	40.09	39.89	38.79	41.01
Al ₂ O ₃	2.01	2.30	2.14	2.4
Fe ^{tot}	28.70	26.89	21.66	31.64
MnO	0.36	0.33	0.28	0.37
MgO	24.11	24.79	24.28	25.34
CaO	1.95	1.83	1.72	2.01
Na ₂ O	0.98	0.95	0.81	1.08
K ₂ O	< 0.1	0.10	0.07	0.14
TiO ₂	0.12	0.11	0.02	0.14
P ₂ O ₅	0.21	0.23	0.16	0.29
Cr ₂ O ₃	0.06	0.60	0.45	1.57
S	2.23	n.a.	n.a.	n.a.
Ni	1.25	1.25	1.05	1.44
Co	0.05	0.07	0.05	0.08

*Jarosewich, 1990, n.a.: no analizado

Tabla 1. Análisis de roca total de Reliegos, y comparación con la composición de las condritas L5 (% peso)
 Table 1. Bulk chemical composition of Reliegos in comparison with L5 chondrite compositions (wt. %)

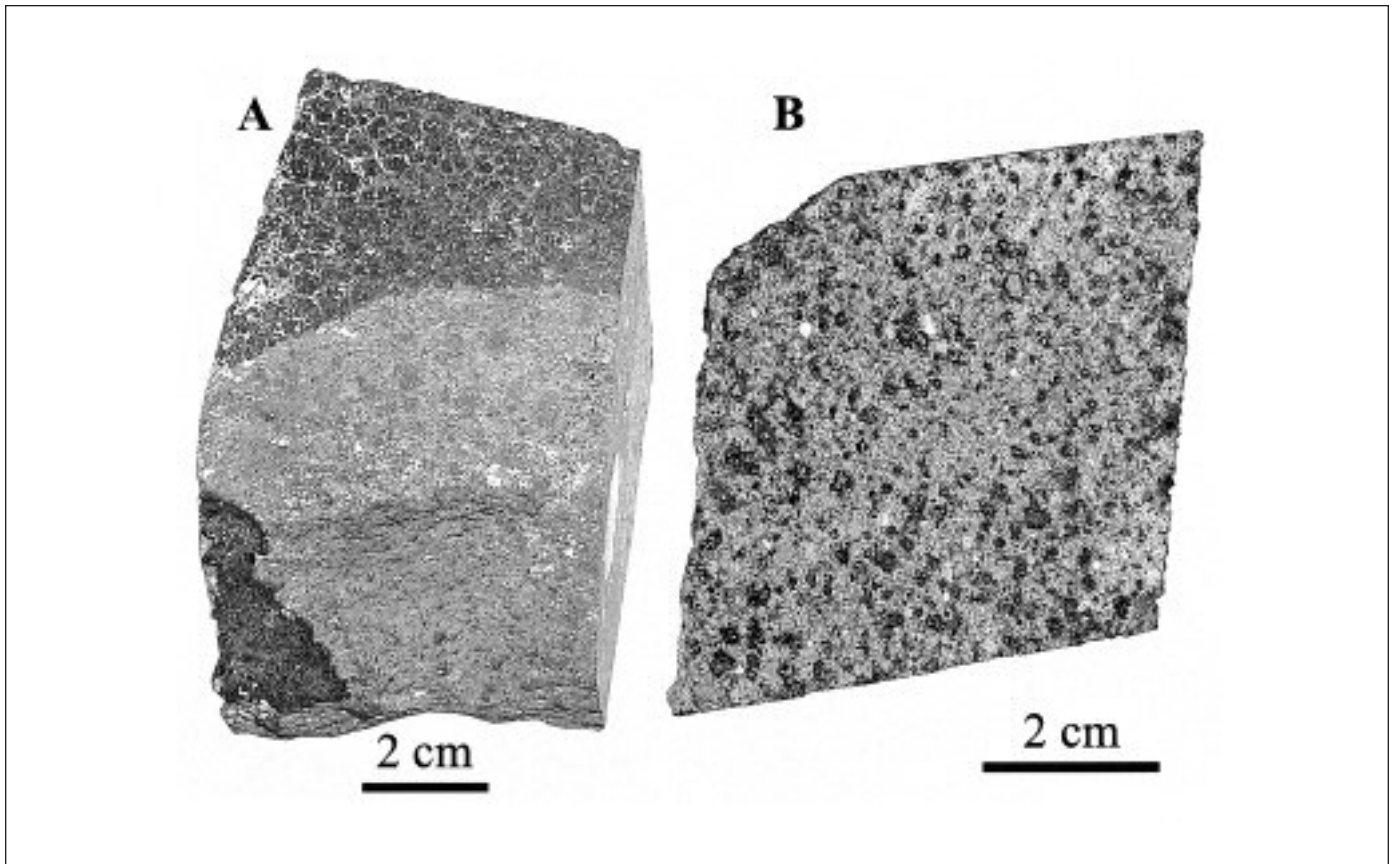


Fig. 1. A) Fragmento del meteorito de Reliegos conservado en el Museo Geominero; B) Detalle de una de las caras de este fragmento, donde se aprecia el halo de oxidación alrededor de los granos metálicos

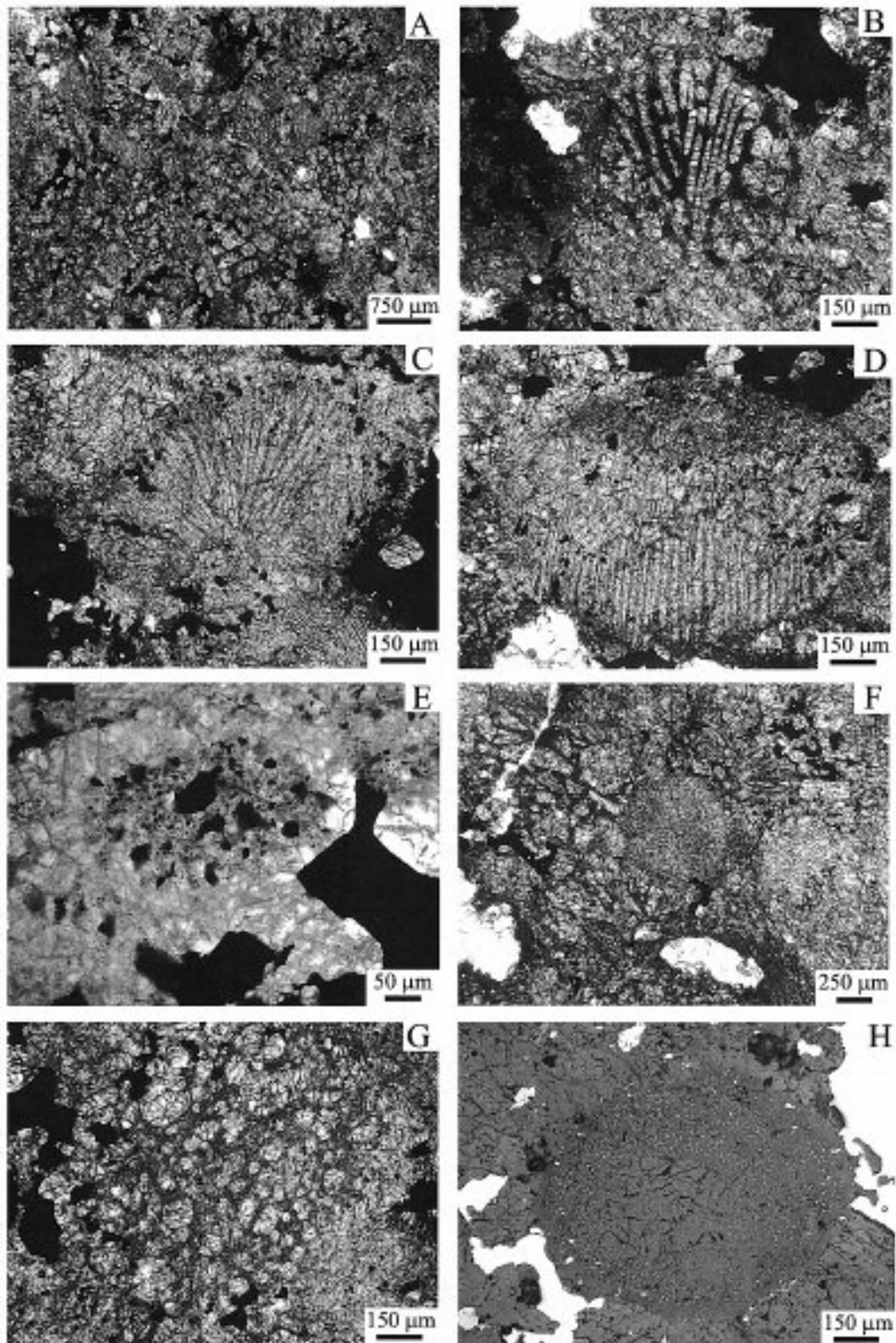
Fig. 1. A) The fragment of the Reliegos meteorite located in the Museo Geominero; B) Detail of one edge of this fragment, where the oxidation halo is appreciated around the metallic grains

(6203-1 y 6203-2) del meteorito de Reliegos mediante luz transmitida y reflejada. Reliegos es una condrita muy recrystalizada en la que los cóndrulos se diferencian con cierta dificultad (Lám. 1A) por lo que, en este trabajo, se ha decidido considerar "matriz" el material que no puede asignarse claramente como cóndrulo. Tales características texturales permiten la clasificación de Reliegos como tipo petrológico 5, confirmando la clasificación anterior (McCoy *et al.*, 1990). Los cóndrulos pertenecen, principalmente, al grupo de los ferromagnesianos. Presentan secciones elipsoidales y distintos tipos de textura y mineralogía. Su tamaño oscila entre 0,5 y 1,5 mm aproximadamente, excepto un cóndrulo de 8 mm visible en muestra de mano. Los más frecuentes son los cóndrulos radiales de piroxeno (Lám. 1B, 1C). También se han reconocido cóndrulos barrados de olivino (Lám. 1D), de olivino + minerales metálicos (Lám. 1E), microgranulares de olivino (Lám. 1F), porfídicos de olivino + piroxeno (Lám. 1G) y un cóndrulo rico en Cr (Lám. 1H). En los cóndrulos barrados de olivino se ha

encontrado clinopiroxeno accesorio (Lám. 2A). En mayor o menor grado, todos los cóndrulos presentan una mesostasia de composición plagioclásica (Lám. 2B). El cóndrulo rico en Cr (0,8 x 1 mm) exhibe una microestructura donde se diferencian claramente tres zonas: una zona externa formada por granos euhedrales de cromita (1-20 μm) y troilita + fases Fe,Ni anhedral (5-30 μm) accesorias; una zona intermedia que consiste en granos de cromita euhedrales (1-10 μm) y apatito anhedral (10-70 μm) accesorio (Lám. 2C), y una zona interna con granos de cromita euhedral (1-5 μm) e ilmenita anhedral (1-5 μm) accesorio. Todas las zonas están incluidas en una mesostasia cuya composición es plagioclásica.

La matriz (Lám. 1A), está compuesta por agregados metálicos (0,3-2 μm) y fragmentos de cóndrulos (con un tamaño medio de 300 μm) incluidos en un agregado heterogéneo de grano más fino, compuesto mayoritariamente por olivino y ortopiroxeno, con cromita y apatito accesorios (Lám. 2D).

La condrita contiene aproximadamente un 6,5% en



volumen de componentes metálicos diseminados estimados por contaje modal en la lámina 6203-1. Se han reconocido agregados de kamacita, taenita, troilita y Cu nativo accesorio que presentan un halo de oxidación, aunque observados con luz reflejada no se reconocen alteraciones a óxidos de hierro. Los análisis de microsonda electrónica han permitido diferenciar claramente las distintas fases de Fe, Ni metálico. Estas fases metálicas son anhedrales con morfologías globulares típicas de procesos de fusión (Lám. 2E). La troilita está en contacto con los granos de Fe, Ni y también en inclusiones anhedrales en el interior de los mismos (Lám. 2F). En este fragmento no se han reconocido venas de fusión. La mesostasia está formada por mosaicos intersticiales de cristales de pequeño tamaño (<10 µm). A partir de fracturas planares y extinción ondulante en algunos olivinos del fragmento del MNCN, Muñoz Espadas *et al.* (2002b) asignan un alto grado de metamorfismo de impacto S4 (Stöffler *et al.*, 1991). Tales características no se han reconocido en los olivinos del fragmento del Museo Geominero (IGME), aunque la presencia de cóndrulos ricos en Cr y de Cu nativo indica un cierto grado de metamorfismo de impacto (Rubin *et al.*, 2001).

El Cu nativo presenta el típico color marrón anaranjado bajo luz reflejada, con una reflectividad algo mayor que la del Fe, Ni metal. Se encuentra frecuentemente como pequeñas inclusiones anhedrales (5-15 µm) dentro de los granos de Fe, Ni (Lám. 2G), aunque ocasionalmente forma una fina película entre los granos de troilita y Fe, Ni (similar a lo observado por Ramdohr, 1973 y Kleinschrot y Okrusch, 1999). La cromita de la matriz se encuentra como pequeños granos anhedrales (0,4 mm de media en su máxima dimensión), habitualmente en contacto con troilita (Lám. 2F) y con Fe, Ni metal (Lám. 2H).

Mineralogía

Para la identificación previa de las fases minerales presentes en el meteorito se ha utilizado Difracción

de Rayos X, mediante la técnica del polvo policristalino en un aparato Philips PW-1700 con tubo de Cu, monocromador de grafito y rendija automática. La identificación se realizó con el software APD de Philips y la Base de datos ICDD. La determinación de la composición elemental de los minerales, tanto en los cóndrulos como en la matriz, se llevó a cabo mediante Microsonda electrónica en el Centro de Microscopía "Luis Bru" de la Universidad Complutense de Madrid. Se trata de un equipo que utiliza WDS de la casa JEOL modelo Superprobe JXA-8900M, que utiliza un diámetro de haz de electrones de 5 µm, y un potencial de 20 kV para minerales metálicos y de 15 kV para minerales no metálicos. Debido a la naturaleza composicionalmente heterogénea de los granos de Fe, Ni metálico, se ha utilizado un haz de 50 µm para su análisis. Debido a su pequeño tamaño, los análisis de las fases que aparecen en el cóndrulo rico en Cr se realizaron con un haz de electrones de 1 µm de diámetro. Los patrones utilizados consistieron en silicatos naturales y sintéticos así como óxidos y metales.

Los olivinos son homogéneos composicionalmente y muestran la misma composición tanto los olivinos de los cóndrulos como los de la matriz (Tabla 2). Se trata de olivinos forsteríticos con unos contenidos en fayalita de $Fa_{22,2-24}$ ($\sigma=0,44$, $N=38$) y un valor medio de $Fa_{23,15}$ (Fig. 2). El contenido en MnO de los olivinos de Reliegos varía entre 0,35 y 0,57% peso, no habiéndose encontrado una correlación positiva con el FeO, mientras que el contenido en CaO no supera el 0,09% peso. Al igual que ocurre con el olivino, el ortopiroxeno pobre en Ca presenta una homogeneidad composicional clara en términos enstatíticos (Tabla 3), de manera que no se han encontrado diferencias significativas entre los análisis llevados a cabo en los ortopiroxenos de la matriz y en los cóndrulos (Fig. 2). Presenta una composición $En_{78,4-79,8}$ $Fs_{18,8-20,2}$ $Wo_{1,1-1,7}$, con unos valores medios de $En_{79,02}$ $Fs_{19,7}$ $Wo_{1,3}$ y contenidos menores de TiO_2 , Al_2O_3 , Cr_2O_3 , MnO y CaO. Estos datos concuerdan con las composiciones obtenidas por McCoy *et al.* (1990). Los granos de clinopiroxeno medidos conforman un grupo homogéneo de com-

Lámina 1: **A)** Aspecto general de la condrita. Los cóndrulos se encuentran muy poco definidos, por lo que es dificultoso identificar la matriz. Luz transmitida; **B)** Cóndrulo radial de piroxeno. La mesostasia de composición plagioclásica rellena los intersticios entre los cristales de piroxeno. Luz transmitida; **C)** Cóndrulo radial de piroxeno con granos de Fe, Ni en la zona externa. Luz transmitida; **D)** Cóndrulo barrado de olivino que incluye granos de Fe, Ni en su interior. Luz transmitida; **E)** Cóndrulo de olivino con minerales metálicos de tamaño variable. Luz transmitida; **F)** Cóndrulo microgranular de olivino. Luz transmitida; **G)** Cóndrulo porfídico de olivino y piroxeno. Luz transmitida; **H)** Cóndrulo rico en Cr. El borde contiene granos de minerales metálicos. Luz reflejada

Plate 1: **A)** General view of the chondrite. Chondrules are not clearly defined, and matrix is difficult to identify. Transmitted light; **B)** Radial pyroxene chondrule. The plagioclase mesostasis fills the interstices among the pyroxene crystals. Transmitted light; **C)** Radial pyroxene chondrule showing Fe, Ni grains in the external zone. Transmitted light; **D)** Barred olivine chondrule including Fe, Ni grains. Transmitted light; **E)** Olivine chondrule including Fe, Ni grains of different size. Transmitted light; **F)** Microgranular olivine chondrule. Transmitted light; **G)** Porphyritic olivine-pyroxene chondrule. Transmitted light; **H)** The Cr-rich chondrule. Metal grains can be observed at the rim. Reflected light

Análisis	Oli _{co} 37	Oli _{co} 52	Oli _{co} 35	Oli _{co} 27	Oli _{ma} 18	Oli _{ma} 6	Oli _{ma} 28	Oli _{ma} 18
SiO ₂	38,01	37,87	38,72	37,66	38,64	38,76	37,83	38,11
Al ₂ O ₃	n.d.	n.d.	n.d.	0,20	n.d.	n.d.	n.d.	0,20
FeO	21,52	21,85	20,73	21,73	21,41	21,05	21,49	21,89
MnO	0,48	0,41	0,36	0,48	0,42	0,41	0,50	0,46
MgO	39,85	39,50	40,59	40,01	40,00	40,37	40,02	39,39
CaO	0,09	0,02	0,03	0,04	0,07	0,04	0,06	0,09
Na ₂ O	n.d.	n.d.	n.d.	0,06	n.d.	0,05	0,03	0,09
Cr ₂ O ₃	0,05	n.d.	0,08	n.d.	0,03	0,04	0,04	n.d.
P ₂ O ₅	0,07	0,03	n.d.	0,05	0,14	n.d.	n.d.	0,05
Total	100,07	99,68	100,51	100,23	100,71	100,72	99,97	100,28
Cationes calculados para 4 oxígenos								
Si	0,98	0,98	0,99	0,97	0,99	0,99	0,98	0,99
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ²⁺	0,47	0,48	0,44	0,47	0,46	0,45	0,47	0,48
Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg	1,54	1,53	1,55	1,54	1,53	1,54	1,54	1,52
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	3,00	3,00	2,99	2,99	2,99	2,99	3,00	3,00
Miembros finales								
Fe ₂ SiO ₄	23,10	23,56	22,18	23,23	22,96	22,52	23,00	23,62
Mg ₂ SiO ₄	76,25	75,95	77,39	76,21	76,48	76,98	76,37	75,76
Mn ₂ SiO ₄	0,52	0,45	0,39	0,52	0,45	0,45	0,54	0,50
Ca ₂ SiO ₄	0,13	0,03	0,04	0,05	0,10	0,05	0,09	0,12

Oli_{co}: olivino de cóndrulo, Oli_{ma}: olivino de matriz, n.d.: no detectado

Tabla 2. Análisis representativos de microsonda electrónica (% peso) y cationes calculados de olivino de cóndrulos (Oli_{co}) y de matriz (Oli_{ma})
 Table 2. Representative microprobe analyses (wt. %), mineral formulae and end-members of olivine from chondrules (Oli_{co}) and matrix (Oli_{ma})

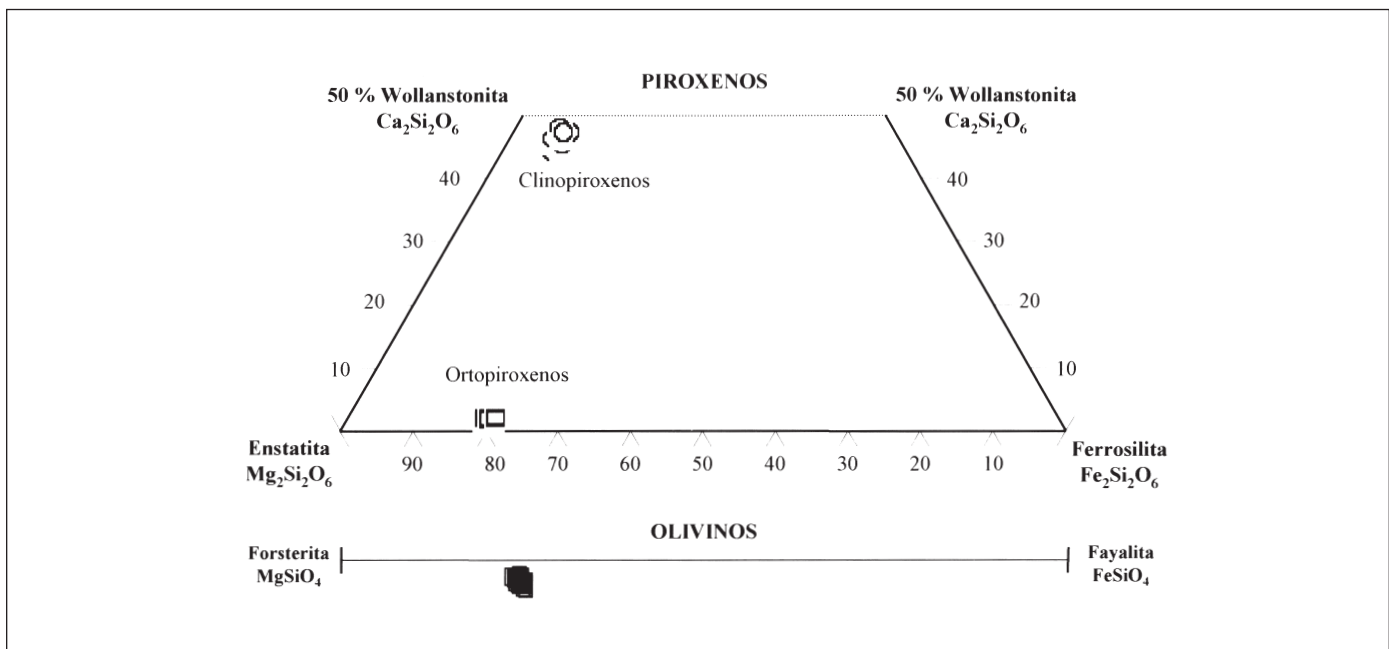


Fig. 2. Diagramas composicionales de piroxenos y olivinos
 Fig. 2. Pyroxene and olivine compositional plots

posición diópsido y términos extremos $En_{45,5-49,4}Fs_{6,1-7,4}Wo_{44,0-47,9}$ (Tabla 3; Fig. 2). A pesar del pequeño tamaño de los granos de plagioclasa, los análisis de microsonda electrónica reflejan un grupo composicional relativamente homogéneo, siendo en el componente albítico donde se encuentran las mayores diferencias (Tabla 4). Los términos varían entre $Ab_{69-80}An_{14,2-25}Or_{4,5-7,1}$, y presenta unos valores medios de $Ab_{72,45}An_{22,1}Or_{5,5}$. A reseñar podrían ser los contenidos en Fe (0,15-0,40% peso) y Mg (hasta 0,11% peso), aunque parece más lógico pensar en un proceso de contaminación con los minerales ferromagnesianos hospedados por la matriz de plagioclasa. Los cristales de cromita analizados muestran una composición muy próxima a la estequiométrica $FeCr_2O_4$ (Tabla 5), pero con parte del Fe^{2+} (<3% peso) sustituido parcialmente por Mg y Mn. También muestra un 6% peso de Al_2O_3 y cantidades apreciables de TiO_2 (~3% peso) y V_2O_5 (0,75% peso). Estas cromitas presentan una relación $Cr/(Cr+Al)=0,86$, y una relación $Fe^{2+}/(Fe^{2+}+Mg)=0,87$. Los análisis

Análisis	Orpx 38	Orpx 30	Orpx 25	Orpx 57	Clpx 34	Clpx 29	Clpx 28
SiO ₂	55,49	55,92	56,52	56,07	53,42	54,23	54,10
Al ₂ O ₃	0,14	0,16	0,89	0,16	0,59	0,45	0,53
FeO	13,12	13,15	12,42	13,05	4,54	3,94	4,29
MnO	0,55	0,32	0,42	0,45	0,26	0,20	0,24
MgO	30,02	29,57	28,87	29,94	16,78	17,24	17,73
CaO	0,58	0,76	0,65	0,62	22,22	23,10	21,99
Na ₂ O	0,04	n.d.	0,34	n.d.	0,62	0,52	0,49
TiO ₂	0,19	0,21	0,27	0,17	0,49	0,47	0,41
Cr ₂ O ₃	0,18	0,11	0,18	0,06	0,74	0,68	0,65
Total	100,31	100,20	100,56	100,52	99,66	100,83	100,43
Cationes calculados para 6 oxígenos							
Si	1,98	1,99	1,99	1,99	1,97	1,97	1,97
Al	0,01	0,01	0,04	0,01	0,03	0,02	0,02
Fe ²⁺	0,39	0,39	0,37	0,39	0,14	0,12	0,13
Mn	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mg	1,59	1,57	1,52	1,58	0,92	0,93	0,96
Ca	0,02	0,03	0,02	0,02	0,88	0,90	0,86
Na	0,00	0,00	0,02	0,00	0,04	0,04	0,03
Ti	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
Cr	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,02
Total	4,02	4,00	3,99	4,00	4,02	4,02	4,02
Miembros finales							
Mg ₂ Si ₂ O ₆	79,42	78,86	79,52	79,41	47,53	47,82	49,33
Fe ₂ Si ₂ O ₆	19,48	19,68	19,19	19,41	7,22	6,13	6,70
Ca ₂ Si ₂ O ₆	1,10	1,46	1,29	1,18	45,25	46,05	43,97

Orpx: ortopiroxeno, Clpx: clinopiroxeno, n.d.: no detectado

Tabla 3. Análisis representativos de microsonda electrónica (% peso) y cationes calculados de ortopiroxeno (Orpx) y clinopiroxeno (Clpx)

Table 3. Representative microprobe analyses (wt. %), mineral formulae and end-members of orthopyroxene (Orpx) and clinopyroxene (Clpx)

Análisis	Plg 4	Plg 5	Plg 8	Plg 40	Plg 42
SiO ₂	66,34	66,25	65,50	65,54	65,45
Al ₂ O ₃	22,23	22,11	22,06	20,32	21,26
FeO	0,37	0,21	0,20	0,33	0,15
MnO	0,06	n.d.	n.d.	n.d.	0,05
MgO	0,11	0,08	0,08	0,02	n.d.
CaO	2,15	2,37	2,47	1,64	2,28
Na ₂ O	7,90	7,44	9,40	10,23	10,23
K ₂ O	1,19	1,04	0,87	1,15	1,05
Total	100,35	99,50	100,58	99,23	100,47
Cationes calculados para 6 oxígenos					
Si	2,93	2,94	2,87	2,90	2,87
Al	1,15	1,16	1,14	1,06	1,10
Fe ²⁺	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Ca	0,10	0,11	0,12	0,08	0,11
Na	0,68	0,64	0,80	0,88	0,87
K	0,07	0,06	0,05	0,06	0,06
Total	4,96	4,93	5,00	5,01	5,01
Miembros finales					
Albita	71,44	69,24	74,01	79,93	76,15
Anortita	21,50	24,39	21,46	14,18	18,73
Ortosa	7,06	6,37	4,53	5,89	5,13

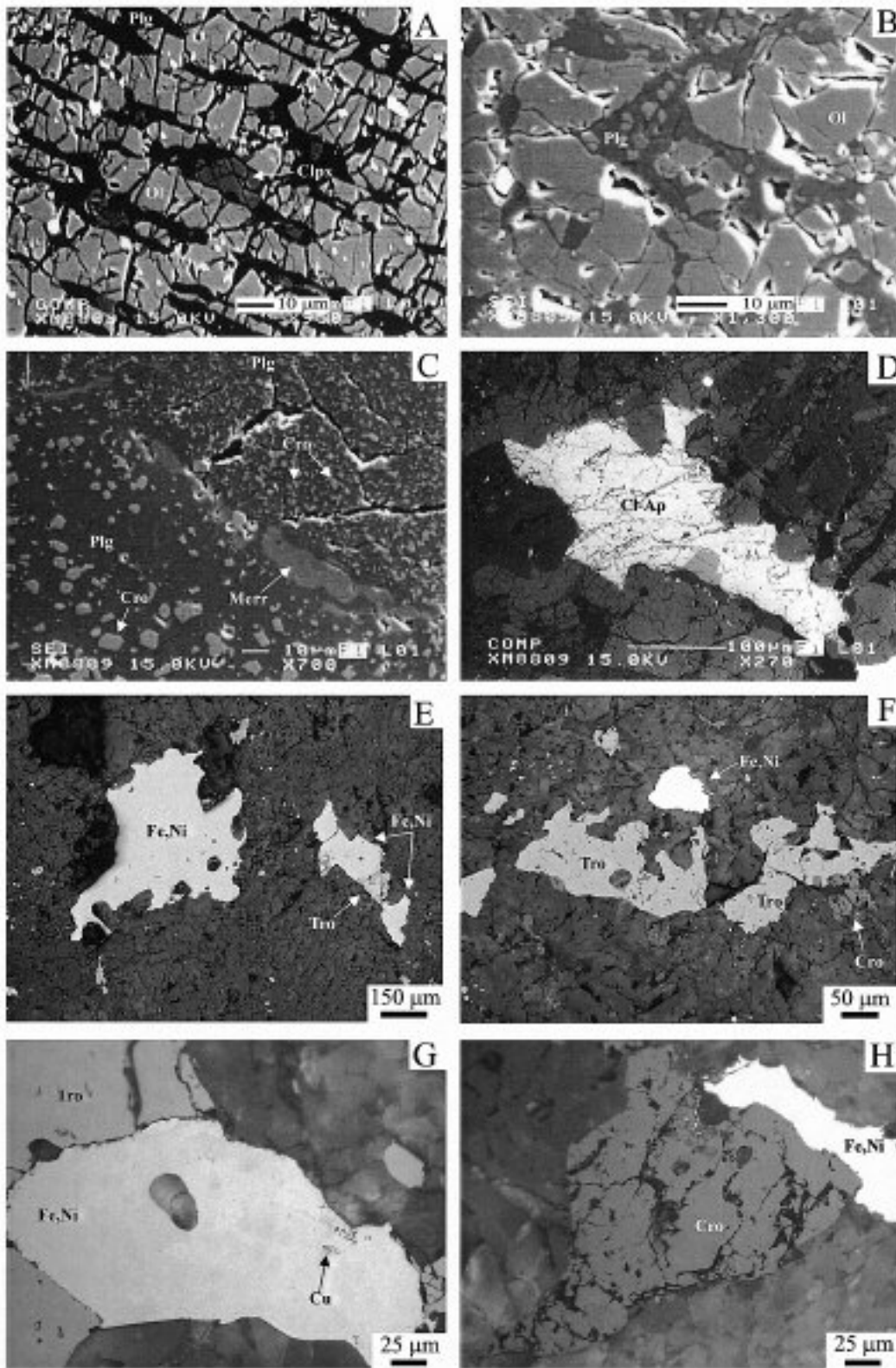
n.d.: no detectado

Tabla 4. Análisis representativos de microsonda electrónica (% peso) y cationes calculados de plagioclasa de la matriz
Table 4. Representative microprobe analyses (wt. %), mineral formulae and end-members of plagioclase from matrix

realizados en apatito muestran un contenido medio en F de 0,6% peso y en Cl de 4,6% peso, lo que le atribuye características composicionales de Cl-apatito (Tabla 6). A reseñar son los contenidos medios en Na₂O (0,38% peso) y en FeO (0,26% peso).

Los minerales metálicos (Fe,Ni y troilita) ocupan intersticios entre los silicatos y sus tamaños son muy variables, desde unas pocas micras a un máximo de 1.000 µm. En ocasiones engloban granos redondeados de silicatos. La troilita tiene una composición estequiométrica, con contenidos de Co siempre inferiores a 0,1% en peso (Tabla 7) y cantidades notables de Ni (hasta 0,5% peso). En los granos de Fe,Ni se han detectado dos fases con proporciones de Fe y Ni diferentes: kamacita y taenita (Tabla 8). La kamacita contiene hasta 6,7% peso de Ni y 0,9% peso de Co. La taenita contiene hasta 32% peso de Ni y 0,3% peso de Co. El Cu nativo contiene 6,38% peso Fe, 2,28% peso Ni y 0,23% peso S (Tabla 8). Los contenidos anómalamente altos en Fe, Ni y S se deben probablemente a la contaminación con los minerales metálicos hospedantes.

La composición de las fases minerales presentes



Análisis	Cro 3	Cro 4	Cro 7	Cro 10	Cro 12
SiO ₂	n.d.	n.d.	n.d.	0,03	0,03
Al ₂ O ₃	6,03	5,83	6,11	5,90	5,91
FeO	30,44	30,28	30,51	29,83	30,36
MnO	0,80	0,76	0,84	0,73	0,76
MgO	2,54	2,56	2,42	2,52	2,76
CaO	0,03	n.d.	0,03	n.d.	n.d.
TiO ₂	3,22	3,22	2,62	3,01	3,30
Cr ₂ O ₃	56,33	56,55	56,09	56,48	56,28
ZnO	0,33	0,30	0,37	0,47	0,31
V ₂ O ₃	0,76	0,79	0,81	0,81	0,72
Suma	100,48	100,29	99,80	99,75	100,40
Cationes calculados para 4 oxígenos					
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	0,25	0,24	0,26	0,25	0,25
Fe ²⁺	0,90	0,89	0,91	0,89	0,89
Mn	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
Mg	0,13	0,13	0,13	0,13	0,15
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,09	0,09	0,07	0,08	0,09
Cr	1,57	1,58	1,58	1,58	1,57
Zn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
V	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Suma	2,99	2,99	3,00	2,99	2,99

n.d.: no detectado

Análisis	Cl-ap 33	Cl-ap 34	Cl-ap 35	Cl-ap 36	Cl-ap 37
SiO ₂	0,04	n.d.	n.d.	n.d.	0,05
FeO	0,51	0,15	0,22	0,21	0,22
MnO	0,06	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
MgO	n.d.	n.d.	n.d.	0,03	n.d.
CaO	52,18	52,80	52,58	52,41	52,41
Na ₂ O	0,33	0,38	0,39	0,40	0,40
Cr ₂ O ₃	0,06	n.d.	n.d.	0,04	0,06
P ₂ O ₅	41,72	40,33	41,13	41,35	41,36
F	1,00	0,72	0,53	0,48	0,39
Cl	4,26	4,62	5,06	4,64	4,43
Suma	100,16	99,00	99,91	99,56	99,32
Cationes calculados para 25 oxígenos					
Si	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Fe	0,07	0,02	0,03	0,03	0,03
Mn	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Ca	9,30	9,59	9,45	9,42	9,44
Na	0,11	0,13	0,13	0,13	0,13
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P	5,88	5,79	5,84	5,87	5,89
F	0,52	0,39	0,28	0,26	0,21
Cl	1,20	1,33	1,44	1,32	1,26
Total	16,37	16,53	16,45	16,47	16,49

n.d.: no detectado

Tabla 5. Análisis representativos de microsonda electrónica (% peso) y cationes calculados de cromita
 Table 5. Representative microprobe analyses (wt. %) and mineral formulae of chromite

Tabla 6. Análisis representativos de microsonda electrónica (% peso) y cationes calculados de Cl-apatito
 Table 6. Representative microprobe analyses (wt. %) and mineral formulae of Cl-apatite

en el cóndrulo rico en Cr está resumida en la Tabla 9. Se han medido plagioclasa (mesostasia) y cromita de las tres zonas definidas petrográficamente, así como apatito de la zona intermedia e ilmenita de la zona interna. Se han realizado perfiles composicionales en plagioclasa (cada 50 μm) y en cromita (cada 30 μm) desde el borde al núcleo de este cóndrulo. Las composiciones de plagioclasa se muestran en el perfil A-A' de la Fig. 3: de borde a núcleo los contenidos de

SiO₂ y Na₂O descienden, mientras que los de Al₂O₃ y CaO aumentan de A (Or_{4,9}Ab_{75,4}An_{19,7}) a A' (Or_{0,6}Ab_{36,1}An_{63,3}). La composición de la cromita también muestra el mismo patrón de zonado que la de la plagioclasa. La relación Cr/(Cr+Al) desciende del borde (0,85) al núcleo (0,35), al igual que la relación Fe²⁺/(Fe²⁺+Mg) desde B (0,88) a B' (0,60) (Fig. 3). En la zona intermedia se distinguen granos pequeños (50 μm) de apatito con morfologías alargadas. Los análi-

Lámina 2. **A)** Cristales de clinopiroxeno en un cóndrulo barrado de olivino. Imagen BSE; **B)** Detalle de la mesostasia (plagioclasa) de un cóndrulo barrado de olivino. Imagen SEM; **C)** Cristales de merrillita en la interfase entre la zona intermedia y la zona interna del cóndrulo rico en Cr: ambas zonas están formadas por cromita euhedral incluida en la mesostasia (plagioclasa), aunque en la zona interna (superior derecha) los cristales de cromita presentan un menor tamaño. Imagen SEM; **D)** Cristal de Cl-apatito anhedral incluido en la matriz. Imagen BSE; **E)** Granos anhedrales de Fe, Ni incluidos en la matriz. También se observa un agregado de Fe, Ni y troilita. Luz reflejada. **F)** Granos anhedrales de Fe, Ni y agregados de troilita y cromita de la matriz. Luz reflejada; **G)** Cu nativo incluido en un grano de Fe, Ni en contacto con troilita. Luz reflejada; **H)** Agregado de cromita y Fe, Ni incluido en la matriz. Luz reflejada. (Ol: olivino, Clpx: clinopiroxeno, Plg: plagioclasa, Merr: merrillita, Cro: cromita, Cl-Ap: Cl-apatito, Fe, Ni: Fe, Ni metal, Tro: troilita, Cu: cobre nativo)

Plate 2. **A)** Clinopyroxene crystals in a barred olivine chondrule. BSE image; **B)** Detail of the mesostasis (plagioclase) of a barred olivine chondrule. SEM image; **C)** Merrillite crystals in the interface between the internal and the intermediate zone of the Cr-rich chondrule: both are constituted by euhedral chromite included in the mesostasis (plagioclase), but chromite grains from the internal zone (up right) are lower than the intermediate zone ones. SEM image; **D)** Anhedral Cl-apatite crystals included in the matrix. BSE image; **E)** Anhedral Fe, Ni grains included in the matrix. A troilite and metal aggregate can be observed. Reflected light; **F)** Anhedral grains of Fe, Ni, and troilite and chromite aggregates from matrix. Reflected light; **G)** Native Cu included in a metal grain in contact with troilite. Reflected light; **H)** Chromite and Fe, Ni aggregate from matrix. Reflected light. (Ol: olivine, Clpx: clinopyroxene, Plg: plagioclase, Merr: merrillite, Cro: chromite, Cl-Ap: Cl-apatite, Fe, Ni: metal Fe, Ni, Tro: troilite, Cu: native copper)

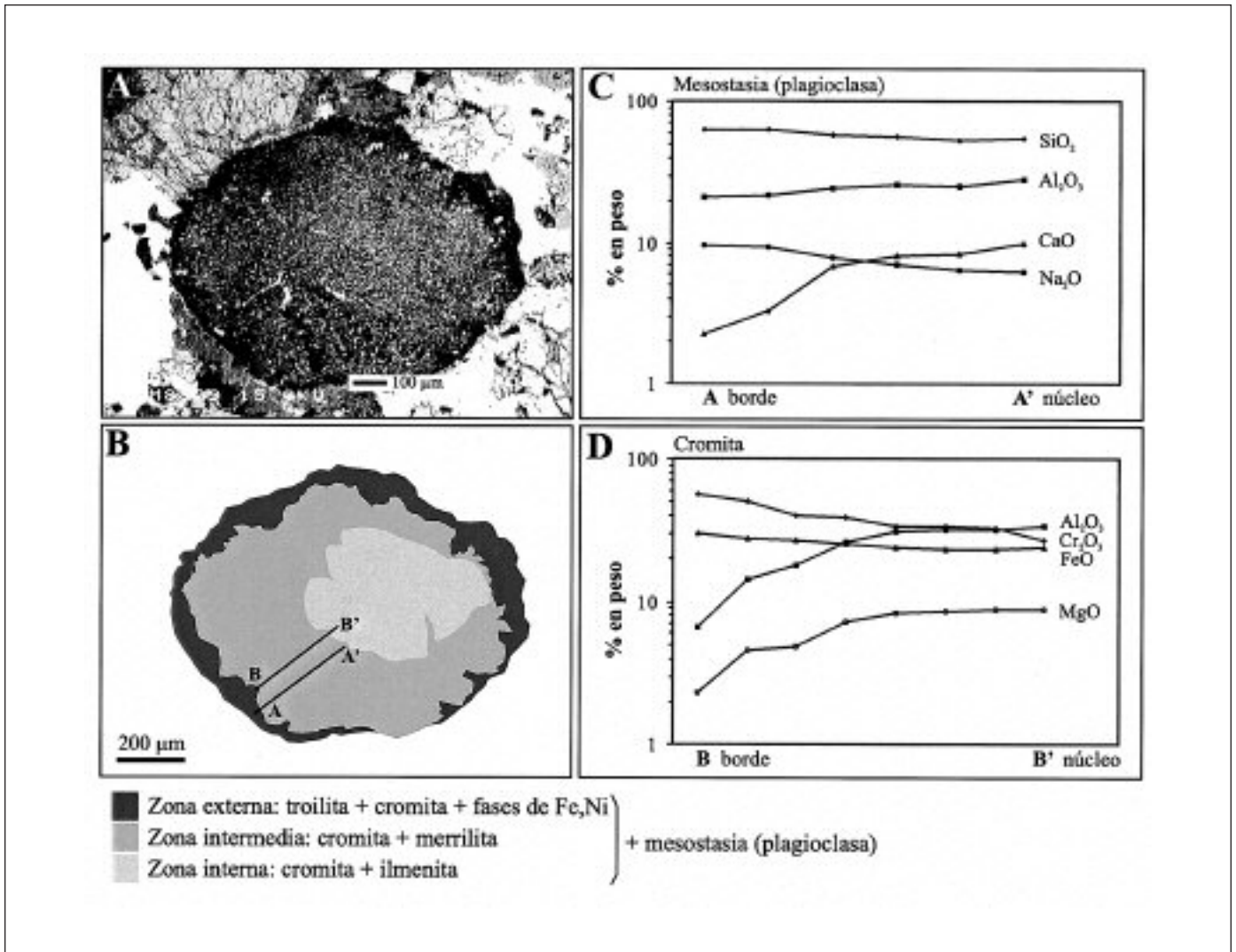


Fig. 3. Zonado químico y mineralógico del cóndrulo rico en Cr. A) Imagen de electrones retrodispersados del cóndrulo rico en Cr; B) Esquema que muestra las tres zonas diferenciadas y los perfiles analizados: A-A' en plagioclasa y B-B' en cromita; C) análisis de microsonda en granos de plagioclasa de borde a núcleo de la zona intermedia (A-A'), y D) análisis de microsonda en granos de cromita de borde a núcleo de la zona intermedia (B-B')

Fig. 3. Mineralogical and chemical zoning of the Cr-rich chondrule. A) Backscattered image of the Cr-rich chondrule; B) schematical map showing the three zones defined and the microprobe profiles carried out: A-A' in plagioclase and B-B' in chromite; C) microprobe analyses in plagioclase grains from rim to core of the intermediate zone (A-A'), and D) microprobe analyses in chromite grains from rim to core of the intermediate zone (B-B')

sis de microsonda recalculados para una fórmula estructural de 56 oxígenos proporciona una composición muy próxima a la fórmula teórica $\text{Ca}_{18}(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{Na}_2(\text{PO}_4)_{14}$ dada por Dowty (1976) para merrillitas en meteoritos (Tabla 9). Los granos de ilmenita (<10 µm) son anhedrales y contienen cantidades significativas de Mg y Mn (5,0 y 1,0% peso respectivamente), similar a las ilmenitas medidas por Krot *et al.*, (1993) en cóndrulos ricos en Cr. En este trabajo, los contenidos de V_2O_5 en ilmenitas varían entre 0,82 a 0,99% peso.

Discusión y conclusiones

El ejemplar del Museo Geominero (IGME) no ha sido estudiado en detalle ni catalogado hasta la fecha, y representa el segundo fragmento más grande del meteorito de Reliegos. Las características texturales y los análisis de microsonda realizados confirman su clasificación como una condrita de tipo L5.

Una de las principales aportaciones de este trabajo es la identificación y el estudio en detalle de un cóndrulo rico en Cr. La presencia de cóndrulos ricos

Análisis	Tro 16	Tro 19	Tro 24	Tro 32	Tro 33
Fe	62,75	62,22	62,11	61,44	61,89
S	36,85	37,09	36,81	37,11	37,08
Co	0,08	0,09	0,05	0,07	0,07
Ni	n.d.	n.d.	0,31	0,46	0,17
Total	99,68	99,40	99,28	99,08	99,21

n.d.: no detectado

Tabla 7. Análisis representativos de microsonda electrónica (% peso) de troilita
Table 7. Representative microprobe analyses (wt. %) of troilite

Análisis	Kam 1	Kam 5	Kam 27	Tae 26	Tae 30	Cu 36
Fe	92,10	92,69	94,51	70,03	67,43	6,38
S	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,23
Co	0,86	0,84	0,91	0,31	0,30	n.d.
Ni	6,70	6,56	4,31	30,22	32,00	2,28
Cu	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	93,57
Total	99,66	100,09	99,73	100,56	99,73	102,46

Kam: kamacita, Tae: taenita, Cu: Cu nativo, n.d.: no detectado

Tabla 8. Análisis representativos de microsonda electrónica (% peso) de fases de Fe, Ni y Cu nativo
Table 8. Representative microprobe analyses (wt. %) of Fe, Ni phases and native Cu

en Cr es un hecho infrecuente en condritas L y LL, pero relativamente común en condritas H. Únicamente un 12% de las condritas de tipo L exhiben cóndrulos ricos en Cr (Krot *et al.*, 1993). Ramdohr (1967) definió los cóndrulos ricos en Cr en función de su mineralogía, consistente en cromita, feldespato y ocasionalmente piroxeno (además de fases accesorias), y dividió el conjunto de este tipo de cóndrulos en cinco categorías basadas en el mineral predominante. Los cóndrulos ricos en Cr representan < de 0,1% de los cóndrulos que aparecen en las condritas ordinarias y actualmente son divididos en tres grandes grupos (Krot y Rubin, 1993; Krot *et al.*, 1993): a) cóndrulos de espinela rica en Cr, formados por granos de Cr-espinela incluidos en una mesostasia de composición plagioclásica, además de ilmenita, piroxeno rico en Ca y merrillita. Estos muestran un zonado químico y mineral de distribución concéntrica con un diámetro aparente de 100 a 300 μm ; b) objetos ricos en Cr-espinela, con tamaño y mineralogía similar a los del grupo anterior, pero con morfologías diferentes, y c) cóndrulos ricos en Cr y en silicatos máficos, formados por granos de cromita, olivino y plagioclasa como minerales mayoritarios, y por merrillita, troilita, Fe,Ni metal, piroxeno e ilmenita como minerales accesorios (diámetro aparente:

300 a 1100 μm). El cóndrulo rico en Cr de Reliegos se incluiría en el grupo a), ya que tiene la misma mineralogía y patrón de zonado, aunque su diámetro aparente (1000 μm) encajaría dentro del grupo c).

El origen de los objetos ricos en Cr no es aún bien conocido. Ivanova *et al.*, (1992) sugieren un mecanismo de inmiscibilidad líquida para explicar la formación de los cóndrulos ricos en Cr del grupo c). Krot *et al.*, (1993) proponen que los objetos ricos en Cr serían el resultado del agrupamiento magnético de granos de cromita interestelares a temperaturas por debajo de -185°C . No obstante, la hipótesis más plausible considera que los precursores de los objetos ricos en Cr serían fundidos silicatados donde los volátiles se encuentran íntimamente mezclados con los

Posición	Pla A	Pla A'	Cro B	Cro B'	Ilm	Merr
SiO ₂	63,56	52,82	0,11	2,92	3,23	n.d.
Al ₂ O ₃	21,02	27,30	6,70	33,85	1,80	n.d.
FeO	0,73	2,04	29,70	24,06	36,23	0,39
MnO	n.d.	n.d.	0,78	0,39	0,96	0,07
MgO	n.d.	0,14	2,31	8,83	5,02	3,59
CaO	2,27	10,45	0,10	0,65	0,82	45,56
Na ₂ O	9,61	5,74	n.d.	0,29	0,62	2,85
K ₂ O	0,96	0,16	n.d.	0,03	0,04	0,08
TiO ₂	n.d.	0,08	1,33	0,30	50,02	n.d.
NiO	0,04	0,07	n.d.	0,02	n.d.	0,05
Cr ₂ O ₃	0,01	0,47	56,97	27,17	0,69	n.d.
P ₂ O ₅	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	46,73
ZnO	0,09	n.d.	0,46	0,38	0,02	0,01
V ₂ O ₃	n.d.	n.d.	0,77	0,09	0,88	n.d.
F	n.d.	n.d.	n.d.	0,11	0,14	0,41
Cl	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0,01	0,01
Total	98,37	99,45	99,22	99,06	100,48	99,74
(oxígenos)	8	8	4	4	3	56
Si	2,85	2,40	0,00	0,08	0,15	-
Ti	-	0,00	0,03	0,00	1,79	-
Al	1,11	1,46	0,28	1,19	0,07	-
Fe ²⁺	0,02	0,07	0,87	0,60	0,72	0,12
Mn	-	-	0,02	0,01	0,01	0,02
Mg	-	0,00	0,12	0,39	0,17	1,91
Ca	0,10	0,51	0,00	0,02	0,02	17,43
Na	0,83	0,50	-	0,01	-	1,97
K	0,05	0,00	-	-	-	-
Cr	-	0,01	1,61	0,64	0,01	-
Zn	0,00	-	0,01	0,00	-	-
V	-	-	0,02	0,00	0,02	-
P	-	-	-	-	-	14,12
Cl	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	0,46
Total	5,00	5,00	2,99	2,99	3,01	36,03

Pla: plagioclasa, Cro: cromita, Ilm: ilmenita, Merr: merrillita, n.d.: no detectado

Tabla 9. Análisis de microsonda electrónica representativos (% peso) de las fases minerales presentes en el cóndrulo rico en Cr
Table 9. Representative microprobe analyses (wt. %) and mineral formulae of mineral phases from the Cr-rich chondrule

componentes refractarios, formados en un posible escenario nebular oxidante. La mayoría de los silicatos se encontrarían fundidos pero el Al y el Cr se encontrarían dentro de cromita en estado sólido, ya que este mineral es refractario. La fase fundida se evaporaría mucho más eficientemente que la fase sólida, por lo que el residuo final estaría muy enriquecido en Al y Cr (Kornacki y Fegley, 1984; Wasson y Krot, 1992; Krot *et al.*, 1993). La plagioclasa de los cóndrulos ricos en Cr no puede ser una fase relictada de la evaporación ya que no es un mineral refractario. Probablemente los álcalis se introdujeron antes del evento final de fusión por reacciones nebulares entre álcalis en estado gaseoso sobre un substrato de cromita (Bischoff y Keil, 1984; Krot *et al.*, 1991; Krot *et al.*, 1993; Rubin *et al.*, 2001).

Como en el caso de Reliegos, el zonado composicional de la cromita y la plagioclasa de los cóndrulos ricos en Cr, se caracteriza por un incremento en la relación Cr/(Cr+Al) y en el contenido en albita desde el núcleo hasta el borde (Brearley *et al.*, 1991; McCoy *et al.*, 1991; Krot *et al.*, 1991; Krot e Ivanova, 1992). La textura y el zonado químico de los cóndrulos ricos en Cr pueden generarse mediante tres procesos distintos: a) difusión durante el metamorfismo del cuerpo padre (Wlotzka, 1985; Brearley *et al.*, 1991); b) difusión producida por el calentamiento motivado por un impacto en la superficie del cuerpo padre (Krot y Rubin, 1993; Rubin *et al.*, 2001), y c) cristalización fraccionada a partir de un fundido rico en Cr y Al, en un posible escenario nebular oxidante (McCoy *et al.*, 1991; Krot *et al.*, 1993). En los cóndrulos formados mediante los procesos a) y b), los cristales de cromita están orientados con respecto a la plagioclasa, debido a procesos de exolución de la cromita (Brearley *et al.*, 1991). En el cóndrulo rico en Cr de Reliegos, la cromita está totalmente desorientada, lo que sugiere que, en este caso, el zonado composicional se debería a procesos de cristalización fraccionada a partir de un fundido rico en Cr y Al en un escenario nebular oxidante. La fracción fundida sería lo suficientemente importante para rebajar la viscosidad y permitir que la tensión superficial generara una gota pseudoesférica. Esto sugiere que el cóndrulo rico en Cr se enfrió lentamente (cristalización fraccionada) antes de incorporarse al cuerpo padre (condrita ordinaria).

No obstante, el borde del cóndrulo parece estar modificado por un metamorfismo de impacto. El hecho de que en la zona externa la plagioclasa y la cromita sean composicionalmente idénticas a las mismas fases encontradas en la matriz apoyan esta hipótesis. Además, la presencia de opacos en el borde de los cóndrulos ricos en Cr, indica una signifi-

cativa modificación del entorno, que, probablemente, se volvió más reductor (Borucki y Stepniowski, 2001).

Agradecimientos

Los autores quieren mostrar su agradecimiento a I. Casanova por su asesoramiento y revisión crítica previa del manuscrito, y a J. González del Tánago y A. Larios por la asistencia técnica en la microsonda electrónica. También queremos agradecer la revisión del manuscrito llevada a cabo por Carlos Martín Escorza. Este trabajo ha sido parcialmente financiado por la Dirección General de Investigación, Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid, a través del proyecto 06/0182/2002.

Referencias

- Bischoff, A. y Keil, K. 1984. Al-rich objects in ordinary chondrites: Related origin of carbonaceous and ordinary chondrites and their constituents. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 693-709.
- Borucki, J. y Stepniowski, M. 2001. Two spinel-bearing compound chondrules from the Baszkówka meteorite. *Geological Quarterly*, 45, 281-288.
- Brearley A.J., Casanova I., Miller M.L. y Keil K. 1991. Mineralogy and possible origin of an unusual Cr-rich inclusion in the Los Martinez (L6) chondrite. *Meteoritics*, 26, 287-300.
- Casanova I., Miller M.L., Keil K., King E.A. y San Miguel A. 1987. Classification, brecciation and impact-melt rock formation of ordinary chondrites: Evidence from a study of Spanish meteorites. *Meteoritics*, 22, 351.
- Dowty, E. 1976. Structure and composition of the $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ minerals. *Meteoritics*, 11, 276.
- Gómez de Larena, J. y Rodríguez Arango, C. 1950. El astrolito de Reliegos (León). *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 48, 303-315.
- Grady, M. 2000. *Catalogue of meteorites: with special reference to those represented in the collection of the Natural History Museum, London*. Cambridge University Press. Cambridge. 5^o ed. 689 pp.
- Graham A.L., Bevan A.W.R. y Hutchison R. 1985. *Catalogue of meteorites*. 4th ed. British Museum, London, U.K. 460 pp.
- Ivanova, M.A., Mitreikina O.B., Krot, A.N. y Zinovieva, N.G. 1992. Na-Al-Cr-bearing chondrules from the Berdyansk (L6) chondrite. *23rd Lunar and Planetary Science Conference*, 23, 587-588.
- Jarosewich E. 1990. Chemical analyses of meteorites: A compilation of stony and iron meteorite analyses. *Meteoritics*, 25, 323-337.
- King, E.A., San Miguel, A., Casanova, I. y Keil, K. 1986. Inventory of the meteorite collection of the Museo Nacional de Ciencias Naturales, C.S.I.C., Madrid, Spain. *Meteoritics*, 21, 193-197.
- Kleinschrot, D. y Okrusch, M. 1999. Mineralogy, petro-

- graphy and thermometry of the H5 chondrite Carcote, Chile. *Meteoritics & Planetary Science*, 34, 795-802.
- Kornacki, A.S. y Fegley, B. 1984. Origin of spinel-rich chondrules and inclusions in carbonaceous and ordinary chondrites. *Journal of Geophysical Research*, 89, 588-596.
- Krot A., Ivanova M.A., Petaev M.I., Sidorov Yu I., Kononkova N.N. y Karataeva N.N. 1991. Chromite-rich chondrules in the ordinary equilibrated chondrites and their possible formation. *22nd Lunar and Planetary Science Conference*, 22, 759-760.
- Krot A. y Ivanova M.A. 1992. Cr-rich chondrules and inclusions in ordinary chondrites. *23rd Lunar and Planetary Science Conference*, 23, 729-730.
- Krot A. y Rubin A.E. 1993. Chromite-rich mafic silicate chondrules in ordinary chondrites: formation by impact melting (abstract). *24th Lunar and Planetary Science Conference*, 24, 827-828.
- Krot A., Ivanova M.A. y Wasson J.T. 1993. The origin of chromitic chondrules and the volatility of Cr under a range of nebular conditions. *Earth and Planetary Science Letters*, 119, 569-584.
- Lozano, R.P. y Martín Crespo, T. 2003. Petrography and mineral chemistry of the Reliegos chondrite, Spain. *Meteoritics & Planetary Science* (en prensa).
- Mason, B. 1963. Olivine composition in chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 27, 1011-1023.
- McCoy, T.J., Casanova, I., Keil, K. y Wieler, R. 1990. Classification of four ordinary chondrites from Spain. *Meteoritics*, 25, 77-79.
- McCoy T.J., Pun A. y Keil K. 1991. Al-rich chondrules in two chondrite finds from Roosevelt Country, New Mexico: Indicators of processes and materials in the early solar system. *Meteoritics*, 26, 301-311.
- Muñoz-Espadas, M.J., Martínez-Frías, J., Lunar, R., Sánchez, B. y Sánchez, J. 2002a. The meteorite collection of the National Museum of Natural Sciences, Madrid, Spain: An updated catalog. *Meteoritics & Planetary Science*, 37 (Suplemento), B89-B94.
- Muñoz-Espadas, M.J., Martínez-Frías, J. y Lunar, R. 2002b. Texturas de metamorfismo de impacto en condritas ordinarias: aplicación a las condritas de Cañellas, Olmedilla de Alarcón, Reliegos y Olivenza. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 25-A, 71-72.
- Muñoz-Espadas, M.J., Martínez-Frías, J. y Lunar, R. 2003. Reliegos L5, último meteorito recuperado en España. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 26-A, 149-150.
- Ramdohr, P. 1967. Chromite and chromite chondrules in meteorites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 31, 1961-1967.
- Ramdohr, P. 1973. *The opaque minerals in stony meteorites*. Elsevier, Amsterdam, 245 pp.
- Rubin A.E., Ulff-Moller F., Wasson J.T. y Carlson W.D. 2001. The Portales Valley meteorite breccia: Evidence for impact-induced melting and metamorphism of an ordinary chondrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 65, 323-342.
- Scott, E.R.D., Taylor, G.J. y Keil, K. 1986. Accretion, metamorphism, and brecciation of ordinary chondrites: Evidence from petrologic studies of meteorites from Roosevelt County, New Mexico. *Proceedings of the Lunar and Planetary Science Conference 17. Journal of Geophysical Research*, 91, E115-E123.
- Stöffler D., Keil K. y Scott E.R.D. 1991. Shock metamorphism of ordinary chondrites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55, 3845-3867.
- Wasson, J.T. y Krot, A. 1992. Oxidizing conditions in the solar nebula and the origin of chromite chondrules. *23rd Lunar and Planetary Science Conference*, 23, 1499.
- Wlotzka F. 1985. Olivine-spinel and olivine-ilmenite thermometry in chondrites of different petrologic type (abstract). *Lunar and Planetary Science Letters*, 16, 918-919.

Recibido: Septiembre 2003

Aceptado: Diciembre 2003