

Las texturas de reacción en gneises calcosilicatados como indicadores de la trayectoria retrógada P-T-X_{CO₂}: el ejemplo del domo gneísico del Tormes, NO Salamanca

Reaction textures in calc-silicate gneisses from the Tormes gneiss complex: implications for the retrograde P-T-X_{CO₂} path

ESCUDE R VIRUETE, J.

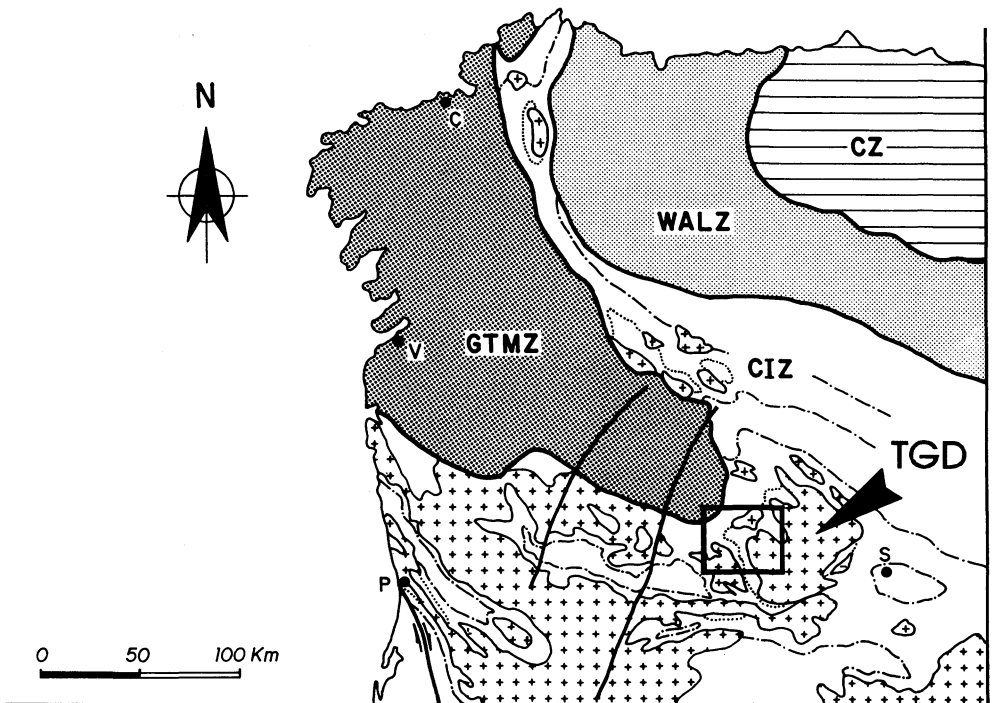
Calc-silicate gneisses from the Lower Unit of the Tormes Gneiss Complex, NW Salamanca, exhibit a sequence of reaction textures that have been used to elucidate their retrograde P-T-X_{CO₂} path. The highest temperature recorded in the calc-silicates is represented by the wollastonite- and scapolite- (meionite-rich) bearing assemblages which yield at least 750° C at 6 kbar based on experimental results. The calc-silicates have partially re-equilibrated at lower temperatures (down to 450° C) as evidenced by the successive reactions: (1) Wo + Scp + Cal → Grt + CO₂; (2) Wo + CO₂ → Cal + Qtz; (3) Scp → Pl + Cal + Qtz; (4) Grt + CO₂ + H₂O → Ep/Clz + Cal + Qtz ± Pl; y (5) Cpx + CO₂ + H₂O → Tr + Cal + Qtz. The cooling down to lower temperatures of 450° C (at P < 3 kbar), in the andalusite stability field, is also suggested by the secondary andalusite replacement of previous fibrolitic sillimanite in adjacent metapelites. In this paper, mineral devolatilization equilibria are used to constrain the composition of both syn- and post-peak-D2 fluids in the deepest exposed levels of the metamorphic complex. The results indicate that during the transitional granulite facies metamorphism, large-scale CO₂ advection did not occur.

Key words: calc-silicates; amphibolite facies; mineral equilibria; retrograde P-T path; fluids; Tormes Gneiss Dome; Iberian Massif

INTRODUCCIÓN

El Domo Gneísico del Tormes (DGT) es un complejo metamórfico localizado en la Zona Centro Ibérica del Macizo Ibérico (Fig. 1), en un área al NO de la ciudad de Salamanca limítrofe entre España y Portugal (MARTÍNEZ, 1974; ESCUDER VIRUETE et al., 1994a y b). Este domo estructural tardío ha experimentado una

evolución tectonotermal hercínica con intensa deformación dúctil y metamorfismo plurifacial. El ciclo metamórfico puede ser subdividido en dos eventos tectonotermales principales: un primer evento muestra afinidad barroviense (D1), y aparece relacionado con el desarrollo de estructuras compresionales que generaron un importante engrosamiento cortical, como plegamiento a gran escala, cabalgamientos dúctiles y



LEYENDA:

Zona Centro Ibérica (CIZ)

- Metasedimentos y ortogneises
- + + Granitoides Hercínicos

Isogradas

- - - - - Blotita (+)
- Sillimanita (+)

Fig. 1: Esquema mostrando la localización del Domo Gneísico del Tormes (DGT) en el NO del Macizo Ibérico. CZ=Zona Cantábrica, WALZ=Zona Asturoccidental-Leonesa; CIZ=Zona Centro-Ibérica; y GTMZ=Zona de Galicia Trás-os-Montes. C=La Coruña; P=Porto; S=Salamanca; y V=Vigo.

apilamiento de unidades tectónicas; el evento posterior (D2) es de baja-P/alta-T y está asociado con procesos extensionales sin y tardi-orogénicos (ESCUDER VIRUETE, 1993 y 1995; ESCUDER VIRUETE et al., 1993 y 1994a y b). El evento D2 oblitera variablemente al anterior; llega a alcanzar condiciones de anfibolitas de alta-T transicionales a las granulíticas de media-P y desarrolla procesos de fusión parcial contemporáneos con la descompresión.

Este estudio pretende establecer la trayectoria P-T retrógrada de la Unidad Inferior del DGT en base a las texturas de reacción observadas en gneises calcosilicatados, de forma alternativa a la establecida geotermobarométricamente en las metapelitas adyacentes, y discutir el papel de los

fluidos que han promovido las reacciones durante la exhumación tectónica del complejo.

ASOCIACIONES MINERALES Y TEXTURAS DE REACCIÓN EN GNEISES CALCOSILICATADOS

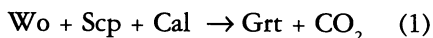
Los gneises calcosilicatados sólo representan una pequeña proporción de las rocas que constituyen la Unidad Inferior del DGT. Aparecen intercalados en las metapelitas formando capas y lentejones de espesor variable, desde varios centímetros hasta varios metros de potencia, frecuentemente alternando con niveles métricos de mármoles calcíticos y dolomíticos. Las asociaciones minerales presentes en los gneises calcosilicatados quedan recogidas en la Tabla 1.

TABLA 1. Asociaciones minerales representativas en gneises calcosilicatados de la Unidad Inferior de DGT. +=presente; r=retrógrado. Abreviaciones de Kretz (1983).

NºMues	Wo	Grt	Cpx	Pl	Cal	Qtz	Scp	Spn	Zoi	Tr	Chl	Op	Otros
9024	+	+	+	+	+			+	r			+	
9024-A	+	+		+	+			+	r			+	
9043	+	+	+	+				+	r		r	+	Ms (r)
9047	+	r	+	+	+	+	+	+	r			+	Ms (r)
T-130		+	+	+	+	+	+	+	r	r	r	+	Kfs, Ms
T-131			+	+	+	+	+	+	r			+	Ms (r)
T-132		+	+	+	+	+	+	+	r	r	r	+	Ms (r)
T-133		+	+	+				+	r	r	r	+	Kfs, Ms

Los gneises con wollastonita contienen calcita+cuarzo, granate (rico en grosularia)+plagioclasa+cuarzo. En varias muestras se reconoce la asociación escapolita+plagioclasa+calcita, junto a la cual puede aparecer clinopiroxeno, plagioclasa, calcita y esfena. Como producto del reemplazamiento retrógrado de las anteriores asociaciones aparece granate, anfíbol tremolítico, epidota, clorita, moscovita, calcita y cuarzo.

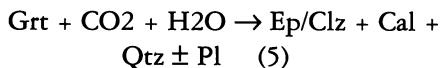
A escala de lámina delgada se observan dominios composicionales caracterizados por una textura granoblástica poligonal, en los que la wollastonita está en equilibrio textural con $Pl+Cal+Qtz \pm Scp \pm Grt \pm Cpx$. En la misma lámina la Wo está reemplazada por agregados de $Cal+Qtz \pm Grt$ y la Scp por intercrecimientos de $Pl+Cal+Qtz$. Estas microtexturas de reacción sugieren las siguientes reacciones:



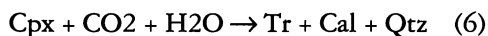
La escapolita, probablemente muy rica en meionita, aparece reemplazada por agregados de Pl+Cal+Qtz que sugirieren la reacción:



El granate grosularia puede formar grandes blastos asociados con clinopiroxeno, plagioclasa, escapolita, calcita, esfena y cuarzo. Aparece transformado en sombras de presión y en «pull-aparts» sin-S2 por $\text{Zoi} \pm \text{Ep/Clz} + \text{Cal} + \text{Qtz}$ (Fig. 2), indicando la reacción:



Sobre el clinopiroxeno crece un anfíbol tremolítico frecuentemente asociado con calcita y cuarzo, implicando la reacción tardía:



EVOLUCIÓN METAMÓRFICA DURANTE EL METAMORFISMO D2

Las asociaciones minerales presentes durante el pico del evento tectonotermal D2 y en momentos posteriores, junto con las texturas de reacción relacionadas, sugieren equilibrios con fluidos de composición rica en H₂O probablemente controlada de forma externa. La evolución metamórfica retrógrada de la Unidad Inferior del DGT puede ser visualizada en el diagrama isobárico

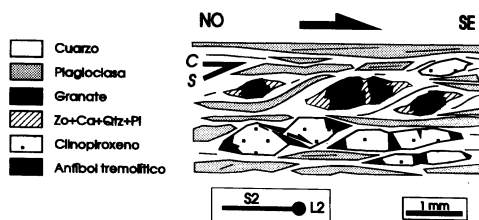


Fig. 2: Esquema dibujado desde la microfotografía de un gneis calcosilicatado milonitizado en condiciones de la facies anfibolítica. La sección delgada es paralela a la lineación L2 y perpendicular a la foliación principal S2. La S2 es una fábrica milonítica S-C dextral indicativa de un sentido de cizalla de techo hacia el SE. El granate rico en grosularia y el clinopiroxeno diopsídico forman porfiroclastos asimétricos transformados, en sombras de presión y «pull-aparts» orientados a alto ángulo con la L2, a agregados de $\text{Zo} + \text{Ca} + \text{Qtz} \pm \text{Pl}$ y a un anfíbol tremolítico ($\pm \text{Cal} \pm \text{Qtz}$), respectivamente. Estas microtexturas son indicativas (ver texto) de un descenso de la T durante D2, a la vez que evidencian su naturaleza retrógrada.

T-X_{CO₂} de la Fig. 3 y el diagrama P-T de la Fig. 4. La composición de la fase fluida, considerada como una mezcla binaria H₂O-CO₂, fue calculada mediante la base de datos termodinámicos de BERMAN (1988 y 1991) y el programa PTX de PERKINS et al. (1987), en función de la asociación mineral en equilibrio y los datos de P obtenidos geotermobarométricamente en las metapelitas adyacentes (740-770° C y 6,5±0,4 kbar, ESCUDER VIRUETE, 1995).

En el diagrama T-X_{CO₂} se observa que las asociaciones de mayor temperatura con escapolita y wollastonita establecen según los datos experimentales temperaturas de, al menos, 750° C. Estas altas temperaturas concuerdan con las deducidas desde la geotermometría de intercambio Fe-Mg entre granate y biotita para el pico del meta-

morfismo D2 en las metapelitas. La estabilidad de la wollastonita en estas condiciones P-T establece valores aproximados de $X_{CO_2} < 0.25$ (Fig. 3), aunque, alternativamente, también puede indicar que en los gneises calcosilicatados la fase fluida fue despreciable durante las condiciones del pico

del metamorfismo. Esta última situación concuerda con la fusión en las metapelitas por deshidratación de la biotita en condiciones de ausencia de una fase fluida durante el pico del metamorfismo D2 (ESCUDEY VIRUETE et al., 1994a y b)

Aunque la posición de cada curva puede desplazarse en función de la composición de los minerales y los cambios en la P, en la Fig. 4 se indica una posible trayectoria para el enfriamiento de la Unidad Inferior deducida en base al conjunto de texturas de reemplazamiento retrógradas. Estas texturas de reacción post-pico del D2 son consistentes con una trayectoria T- X_{CO_2} relativa a un enfriamiento en presencia de fluidos ricos en H_2O ($X_{H_2O} > 0.85$).

Esta interpretación concuerda con la esporádica aparición de vesuvianita en el contacto entre los gneises calcosilicatados y los mármoles, formando agregados de Ves+Grt+Cal+Di±Dol±An±Ep/Clz, generados en momentos post-pico del D2. La existencia de vesuvianita en gneises calcosilicatados está restringida a condiciones con fluidos muy ricos en agua, del orden de $X_{CO_2} < 0.2$ para presiones de 6 kbar (VALLEY et al., 1986). Ya que las reacciones de descarbonatación en los mármoles generalmente producen fluidos con $X_{CO_2} > 0.2$ (YARDLEY, 1989), la existencia de una baja X_{CO_2} deducida desde estas asociaciones implica la infiltración de fluidos ricos en agua en el contacto con los mármoles con posterioridad al pico del D2. El desarrollo de bordes retrógrados de clinozoisita en torno a vesuvianita y la aparición de agregados formados por intercrecimientos de Grs+Cal_Ep/Clz, indica también la presencia de estos fluidos ricos en agua durante

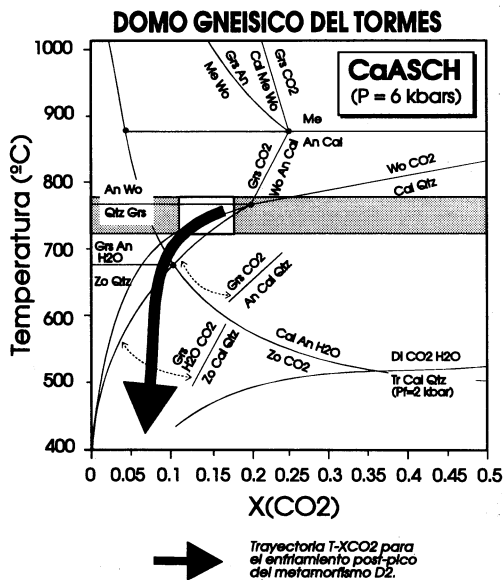


Fig. 3: Diagrama T- X_{CO_2} isobárico ($P_f=6$ kbar) en el que se muestra la posición de las curvas de reacción en el sistema $CaO-Al_2O_3-SiO_2-CO_2-H_2O$ (CaASCH) mencionadas en el texto. La reacción diópsido+ $CO_2+H_2O \rightarrow$ tremolita+calcita+cuarzo ($P_f=2$ kbar) es de Slaughter et al. (1975). La reacción meionita \rightarrow anortita+calcita es para escapolita con Me_{100} . Las condiciones del pico del metamorfismo estimadas geotermobarométricamente en metapelitas se indican aproximadamente con un área punteada en torno a los 760°C. El recuadro blanco señala las condiciones T- X_{CO_2} durante el pico del metamorfismo M2 en gneises calcosilicatados. La flecha negra indica la trayectoria general de enfriamiento post-pico del M2 seguida por la Unidad Inferior del Domo Gneísico del Tormes.

diferentes momentos de la evolución retrógrada.

Las etapas tardías de la retrogradación de los gneises calcosilicatados quedan registradas también con la producción de un anfíbol tremolítico a expensas del clinopiroxeno diopsídico. Probablemente esto coincide con el remplazamiento de la sillimanita por la andalucita en los gneises pelíticos adyacentes. Con la base de la anterior evolución en las asociaciones minerales, se puede establecer un vector P-T retrógrado (Fig. 4) que une las condiciones aproximadas del pico del metamorfismo a 750 °C y 6kbar, en el campo de estabilidad de la sillimanita, con un punto de la evolución retrógrada a aproximada-

mente 450 °C y P<3 kbar, en el de la andalucita.

DISCUSIÓN SOBRE LA FUENTE DE LOS FLUIDOS RICOS EN H₂O DURANTE D2

La formación de asociaciones minerales retrógradas en gneises calcosilicatados de la Unidad Inferior del DGT, sugiere la infiltración de fluidos ricos en H₂O en momentos post-pico del metamorfismo D2. Con anterioridad, las asociaciones minerales presentes durante el pico del metamorfismo D2 evidencian también la presencia de una alta a_{H_2O} . Dicha alta a_{H_2O} en los gneises calcosilicatados puede ser consecuencia de la existencia de una fase fluida despreciable o de la infiltración local de fluidos ricos en H₂O. Existen varias posibles fuentes de fluidos que expliquen el flujo de fluidos ricos en H₂O en momentos sin- y post-pico de D2.

Una posible procedencia de tipo *magmático* puede establecerse en los fluidos derivados de la cristalización de magmas anatéticos sin- y post-pico de D2. La existencia común en los leucogranitos anatéticos de dos micas del área, de agregados milimétricos de moscovita+cuarzo que remplazan a los feldespatos, se relaciona también con estas reacciones y procesos magmáticos/metasomáticos tardíos. Sin embargo, el flujo de los fluidos ricos en H₂O parece haber sido controlado por límites litológicos y/o estructurales, ya que las fases minerales estables con una alta a_{H_2O} aparecen orientadas paralelamente a los planos de la foliación S2. En los gneises calcosilicatados, las asociaciones minerales sin-pico del D2 definen un bandeo composicional de alternancia de niveles oscuros ricos en Grt+Cpx

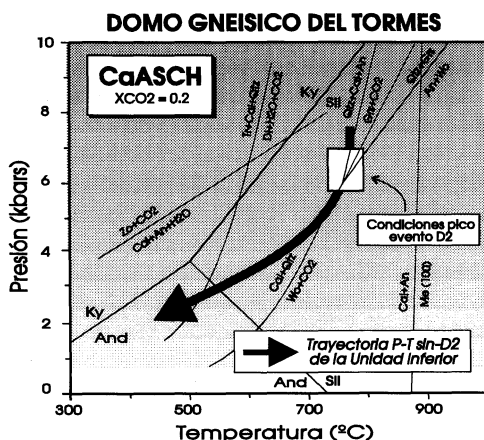


Fig. 4: Diagrama P-T mostrando la evolución metamórfica sugerida para la Unidad Inferior basada en las microtexturas de reacción preservadas en gneises calcosilicatados. Las condiciones P-T del pico del metamorfismo estimadas geotermobarométricamente en las metapelitas adyacentes se indican mediante el recuadro. La trayectoria P-T retrógrada desde el campo de estabilidad de la sillimanita al de la andalucita (Berman, 1991) está indicada por la flecha negra. La reacción diópsido+CO₂+H₂O → tremolita+calcita+ cuarzo (X_{CO₂}=0.2) es de Slaughter et al. (1975).

con niveles más claros ricos en Wo+Pl+Cal, el cual constituye la foliación S2. En estas rocas, las texturas de reacción post-pico del D2 aparecen comúnmente rellenando «pull-aparts» subperpendiculares a la dirección de elongación de los anteriores minerales, L2, o porfiroclastos deformados en momentos post-pico del D2 e integrantes de las fábricas miloníticas S2 (ESCUDER VIRUETE, 1995). El reemplazamiento durante la milonitización D2 de porfiroclastos granate por agregados de Qtz+Ep/Clz+Pl+Cal y de escapolita cálcica por Ep/Clz+Cal, localizados frecuentemente en las sombras de presión elongadas según la lineación de estiramiento L2 (Fig. 2), da cuenta de la naturaleza retrógrada de la superposición de fábricas S2.

El desarrollo de estas texturas de reacción está por lo tanto relacionada con el levantamiento de la Unidad Inferior del DGT durante el proceso de extensión cortical D2. Como ha sido sugerido por KERRICK (1988), durante la deformación dúctil asociada a un proceso de exhumación tectónica es posible la infiltración de im-

portantes cantidades de fluidos de origen *metamórfico* y/o incluso *meteórico*, los cuales cabe esperar se distribuyan de forma heterogénea. La existencia de estos gradientes en la aH_2O controlados por la infiltración de fluidos externos ricos en H₂O puede también haber controlado localmente los procesos de fusión parcial de las metapelitas, ya que la presencia de una fase fluida hace que se desplazan las reacciones de fusión incongruente de la biotita a menores condiciones P-T (THOMPSON, 1982).

La determinación de la fuente concreta de tales fluidos durante la deformación D2 en el DGT requiere un estudio isotópico adicional fuera de los objetivos del presente trabajo. HOLLISTER (1988) invoca, para explicar la deshidratación de las asociaciones minerales durante el metamorfismo en facies anfibolítica superior-granulítica, la existencia de penetrativos procesos de infiltración a gran escala por fluidos ricos en CO₂ de procedencia mantélica. Las composiciones de los fluidos durante el pico del metamorfismo D2, y en momentos posteriores, no concuerdan bien con estos modelos de infiltración a gran escala.

REFERENCIAS

- BERMAN, R. G. (1988). Internally-consistent thermodynamic data for stoichiometric minerals in the system Na₂O-K₂O-CaO-MgO-FeO-Fe₂O₃-Al₂O₃-SiO₂-TiO₂-H₂O-CO₂. *Journal of Petrology*, 29, 445-522.
- BERMAN, R. G. (1991). Thermobarometry using multiequilibrium calculations: a new technique with petrologic applications. *Canadian Mineralogist*, v. 29, 833-855.
- ESCUDER VIRUETE, J. (1993). Mylonitic fabric development and tectonothermal model associated with variscan crustal extension, Northwest Salamanca, Spain (Iberian Hercynian Belt). *Doc. BRGM Fr.*, nº 219, pp. 66.
- ESCUDER VIRUETE, J. (1995). Estructura y metamorfismo Hercínico del Domo Gneísico del Tormes (NO de Salamanca): el ejemplo de evolución tectonothermal de un dominio mesocortical en régimen extensional. *Tesis Doc. Depto. Cienc. de la Tierra, Univ. de Zaragoza*.
- ESCUDER VIRUETE, J.; DÍEZ, A.; y FERNÁNDEZ, J. (1992). Cartografía y Memoria de la Hoja 423 del Mapa Geológico a escala 1:50000, 2ª serie, Fermoselle (prov. de Salamanca y Zamora). *I.T.G.E., Madrid*.
- ESCUDER VIRUETE, J., ARENAS, R. & MARTÍNEZ CATALÁN, J. R. (1993). Exhumación del Domo Gneísico del Tormes: evidencias

- petrológicas y estructurales de extensión a escala cortical. *XV Reun. Xeol. Min. NO Penin. Resumes*, pp. 18-22.
- ESCUDER VIRUETE, J., ARENAS, R. & MARTÍNEZ CATALÁN, J. R. (1994a). Tectonothermal evolution associated with Variscan crustal extension in the Tormes Gneiss Dome (NW Salamanca, Iberian Massif, Spain). *Tectonophysics*, 238: 1-22.
- ESCUDER VIRUETE, J., ARENAS, R. & MARTÍNEZ CATALÁN, J. R. (1994b). Evolución tectonothermal asociada con extensión a escala cortical: el ejemplo hercínico del Domo Gneísico del Tormes (NO Salamanca, Macizo Ibérico). *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 19, 273-304.
- KERRICK, R. (1988). Detachment zones of Cordilleran metamorphic complexes: thermal, fluid and metasomatic regimes. *Geologische Rundschau*, 77: 157-182.
- MARTÍNEZ, F. J. (1974). Estudio del área metamórfica del NW de Salamanca (Cordillera Hercínicana, España). *Trab. Geol.*, 7: 3-59.
- PERKINS, E. H.; BROWN, T. H.; y BERMAN, R. G., 1987. PTX-SYSTEM: Three programs for calculation of pressure-temperature-composition phase diagrams. *Computer & Geosciences*, 12: 749-755.
- SLAUGHTER, J.; KERRICK, D. M.; y WALL, V. J. (1975). Experimental and thermodynamic study of equilibria in the system CaO-MgO-SiO₂-H₂O-CO₂. *Am. Jour. of Science*, 275: 143-162.
- THOMPSON, A. B. (1982). Dehydration melting of pelitic rocks and the generation of H₂O-undersaturated granitic liquids. *American Journal of Science*, 282: 1567-1595.

Recibido: 16/2/95

Aceptado: 28/5/95