

R.4292

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

FACULTAD DE QUIMICA

DEPARTAMENTO DE QUIMICA INORGANICA

UNIVERSIDAD DE SEVILLA  
SECRETARIA GENERAL



+  
372

Queda registrada esta Tesis Doctoral  
al folio 235 número 22 del libro  
correspondiente. 9 JUN. 1989  
Sevilla, \_\_\_\_\_

El Jefe del Negociado de Tesis,

**INFLUENCIA DE LA COMPOSICION, TAMAÑO CRISTALINO Y  
MICROTENSIONES DE COMPONENTES DE VARIOS CEMENTOS  
PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LOS MORTEROS  
CORRESPONDIENTES**



Memoria presentada para  
aspirar al grado de Doctor  
en Ciencias Químicas, por

**UNIVERSIDAD DE SEVILLA**

Depositado en  
de la  
de esta Universidad desde el día  
hasta el día

**MIGUEL VARGAS MUÑOZ**

Sevilla de  
**EL DIRECTOR DE**

Sevilla, Junio de 1989

INFLUENCIA DE LA COMPOSICION, TAMAÑO CRISTALINO Y  
MICROTENSIONES DE COMPONENTES DE VARIOS CEMENTOS  
PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LOS MORTEROS  
CORRESPONDIENTES

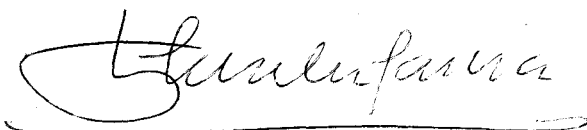
por  
MIGUEL VARGAS MUÑOZ

Trabajo presentado para  
aspirar al grado de Doctor  
en Ciencias Químicas.



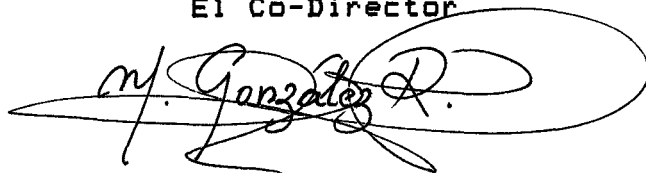
Fdo.: Miguel Vargas Muñoz  
Ldo. en Ciencias Químicas

El Director



Fdo.: Francisco González García  
Catedrático, Profesor Emérito  
de Química Inorgánica de la  
Facultad de Química de la  
Universidad de Sevilla.

El Co-Director



Fdo.: Manuel González Rodríguez  
Profesor Titular de Química  
Inorgánica de la Facultad de  
Química de la Universidad de  
Sevilla.

Sevilla, Junio de 1989

D. José M<sup>a</sup> Trillo de Leyva, Catedrático-Director del Departamento de Química Inorgánica de la Universidad de Sevilla.

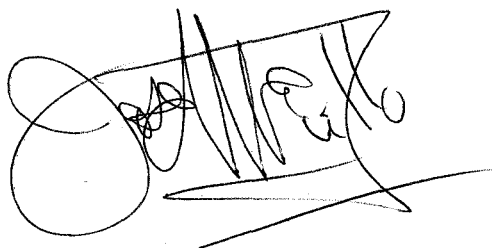
**CERTIFICA:**

Que la Tesis doctoral titulada:

INFLUENCIA DE LA COMPOSICION, TAMAÑO CRISTALINO Y  
MICROTENSIONES DE COMPONENTES DE VARIOS CEMENTOS  
PORTLAND EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE LOS MORTEROS  
CORRESPONDIENTES

presentada por D. Miguel Vargas Muñoz, para la obtención del grado de Doctor en Ciencias Químicas, se ha realizado en los laboratorios de este Departamento de Química Inorgánica, y en lo que concierne a la parte industrial en las instalaciones de la Fabrica de Cementos del Atlántico, S.A. de Alcalá de Guadaíra (Sevilla), todo ello supervisado por los Directores de esta Tesis, Catedrático-Profesor Emérito D. Francisco González García y Profesor Titular D. Manuel González Rodríguez.

Sevilla, Junio de 1989

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'José M. Trillo de Leyva', written over a horizontal line.

Fdo.: José M<sup>a</sup> Trillo de Leyva

## AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento al Prof. D. Francisco González García, Catedrático-Profesor emérito del Departamento de Química Inorgánica de la Universidad de Sevilla por su apoyo y valiosísima dirección sin la cual este trabajo no hubiese podido llevarse a cabo.

Agradezco también el apoyo constante del Dr. D. Manuel González Rodríguez, Profesor Titular del Departamento de Química Inorgánica de la Universidad de Sevilla y co-director del presente trabajo.

Agradezco asimismo al Ilmo. Sr. D. José M. Trillo de Leyva, Catedrático-Director del Departamento de Química Inorgánica de la Universidad de Sevilla las facilidades dadas en todo momento para la realización de este trabajo.

Expreso mi gratitud al Dr. D. José Muñoz Pérez, Profesor Titular del Departamento de Estadística de la Facultad de Matemáticas de la Universidad de Sevilla, por su valiosa ayuda en la interpretación del análisis estadístico.

Agradezco a la Dirección General Técnica de Cementos del Mar y a D. Victoriano José González Vila las facilidades prestadas para la realización de la parte industrial de esta Tesis.

Agradezco también a D. Rafael Caracuel Kindelán, Director de la Fábrica de Cemento de Alcalá de Guadaira (Sevilla), y a D. Joaquín Arroyo Pérez, Director de la Fábrica de Cemento de Lloseta (Baleares) el suministro de las muestras utilizadas.

Finalmente a todos mis compañeros mis reconocimientos por la ayuda y colaboración prestada en varios aspectos concretos relacionados con esta Tesis.

A Marina

## ABREVIACIONES

En la química del cemento es frecuente emplear abreviaciones.

En esta investigación se emplean las siguientes:

A= $\text{Al}_2\text{O}_3$ , óxido de aluminio, alúmina

C= $\text{CaO}$ , óxido de calcio, cal viva

F= $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , óxido de hierro (III), óxido de hierro

H= $\text{H}_2\text{O}$ , agua

S= $\text{SiO}_2$ , sílice, cuarzo

S= $\text{SO}_3$ , trióxido de azufre

CSH<sub>2</sub>= $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , yeso

M= $\text{MgO}$ , óxido de magnesio, magnesia

C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>= $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ , diortosilicato tricálcico

CS= $\text{CaSiO}_3$ , silicato monocálcico

C<sub>3</sub>S= $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ , (alita) oxoortosilicato tricálcico

C<sub>2</sub>S= $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ , (belita) ortosilicato bicálcico

C<sub>3</sub>A= $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ , aluminato tricálcico

C<sub>4</sub>AF= $\text{Ca}_2\text{FeAlO}_5$ , ferrito aluminato tetracálcico

C<sub>2</sub>F= $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_4$ , ferrito dicálcico

MS= módulo de silicatos

MF= módulo de fundentes

SC= estándar de cal

FC= factor de cocibilidad

Otras abreviaciones usadas son:

DRX = Difracción de rayos X

DTA = Análisis térmico diferencial

	AGRADECIMIENTOS	
	ABREVIACIONES	
1.	INTRODUCCION .....	1
1.1	Historia del cemento. Cemento Portland .....	2
1.2	Composición del cemento. Generalidades .....	4
1.3	Proceso de clinkerización .....	5
1.4	Otros cementos .....	6
1.4.1	Cementos compuestos .....	6
1.4.2	Cementos para usos especiales .....	6
1.5	Minerales del cemento. Diagramas de fases ....	9
1.6	Modificaciones cristalinas del $C_3S$ y su estabilización .....	12
1.7	Modificaciones cristalinas del $C_2S$ .....	22
1.8	Aluminato tricálcico .....	29
1.9	Fase ferrítica .....	34
2.	RESISTENCIAS MECANICAS DEL CEMENTO .....	35
2.1	Resistencias mecánicas del cemento. Gene- ralidades .....	35
2.2	Correlación entre composición mineralógica y resistencias .....	35
2.3	Polimorfismo .....	38
2.4	Microscopía .....	42
2.4.1	Reconocimiento de fases .....	42
2.4.2	Predicción de la resistencia mecánica .....	44
3	MATERIALES .....	50
4	INSTRUMENTACION .....	54
5	METODOS TEORICOS Y EXPERIMENTALES .....	57
5.1	Superficie específica .....	57
5.2	Análisis químico .....	58
5.3	Fluorescencia de rayos-X .....	58
5.4	Difracción de rayos-X .....	62
5.5	Indices de composición .....	76
5.6	Dosificación de las materias primas .....	80
6	RESULTADOS EXPERIMENTALES .....	87
6.1	Regresión lineal múltiple .....	187
6.2	Análisis factorial canónico .....	196
7	CONCLUSIONES .....	260
8	BIBLIOGRAFIA .....	267
9	APENDICES .....	274

**I. INTRODUCCION**



### 1.1.- HISTORIA DEL CEMENTO. CEMENTO PORTLAND.

La palabra cemento (del latín "caementum", grava, cascajo) se emplea hoy, en su sentido más amplio, para significar sustancias adhesivas. Ya los romanos, hace más de dos mil años, utilizaban una mezcla de cal y cenizas volcánicas (puzolanas) como aglomerante hidráulico (capaz de fraguar y endurecer posteriormente bajo agua). Aún hoy se conservan en perfecto estado construcciones diversas de aquella y subsiguientes épocas de la Roma y Grecia clásicas en las que el cemento hidráulico tiene su origen.

Antes de fabricarse el más importante de los cementos hidráulicos, el cemento Portland, John Smeaton en 1756 desarrolló la "cal hidráulica" que empleó en la construcción del Eddystone Lighthouse (Faro) de la costa de Devon, Inglaterra. El siguiente desarrollo, sobre 1800, tuvo lugar en Inglaterra y Francia calcinando nódulos de calizas arcillosas. Al mismo material así obtenido se le denominó más tarde en EEUU "cement rock". A todos estos cementos, cercanos al Portland pero calcinados a más baja temperatura y de composición no controlada, se les conoce como "cementos naturales".

Hasta 1750 el cemento era aquella sustancia que mezclada en pequeña cantidad con otra era capaz de mejorar sus propiedades tecnológicas de ahí el nombre de "cementita" al carburo de hierro y de "cementación" o "cementar" al endurecimiento superficial del hierro.

Joseph Aspdin de Leeds, Yorkshire, patentó el 21 de Octubre de 1824 con el nº 5022 en Inglaterra un material al que denominó "cemento Portland", por su parecido después de fraguado a la piedra portland muy empleada en la construcción

en Inglaterra, con el título "Mejora en el método de fabricación de una piedra artificial" y decía:

"Mi método de fabricación de un cemento o piedra artificial para enlucido de edificios, construcciones bajo agua, cisternas y otros usos, al que llamo "CEMENTO PORTLAND" es el siguiente: Se toma una determinada cantidad de caliza y se tritura hasta polvo fino o barro y se añade una cierta cantidad de arcilla y agua para formar una pasta finamente molida, que se deja secar en unas bandejas planas al sol, o bien con fuego o vapor hasta la total eliminación del agua.

A continuación se tritura la pasta seca y se calcina en un horno vertical, similar a los hornos de cal hasta su total descarbonatación.

El material frío después de salir del horno se muele hasta polvo fino, quedando dispuesto para ser amasado con agua" (1).

Vicat criticó y disputó la primacía del descubrimiento diciendo que el material fabricado por Joseph Aspdin sólo era un cemento natural ya patentado anteriormente en 1818 por Vicat en Inglaterra con el número 4262, pero el material fabricado por él era cal hidráulica, así como el patentado el 27 de Julio de 1796 en Inglaterra por James Parker como cemento romano consistente en un aglomerante rápido.

El hijo de Joseph Aspdin, Williams Aspdin, mejoró el método de fabricación de su padre aumentando la temperatura, y construyó seis fábricas de cemento Portland reconociéndose al padre como al descubridor del cemento Portland (1).

## 1.2 COMPOSICION DEL CEMENTO. GENERALIDADES

El principal componente del cemento Portland , el denominado clinca o más frecuentemente "clinker", se obtiene por calcinación a unos 1500° C de una mezcla primaria finamente molida, homogeneizada y adecuadamente dosificada de caliza, marga (arcilla cuyo porcentaje en caliza puede variar de un 20 a un 80 %), arcilla, sílice, alúmina y óxido de hierro, seguida de un enfriamiento relativamente rápido.

Los cementos en general y el cemento Portland en particular son materiales finamente divididos (el 50 % de su peso se debe a granos de diámetro inferior a 30  $\mu\text{m}$ ) obtenidos por molienda conjunta del clinker y la cantidad apropiada de yeso (3 a 6 %) como regulador del fraguado.

El cemento Portland amasado con agua es capaz de fraguar y endurecerse bajo la misma aglomerando arena y áridos para formar el hormigón, capaz de alcanzar la consistencia de una roca (2-6).

Además de por sus "categorías" (Portland, siderúrgico, puzolánico y compuestos), los cementos se caracterizan por la "resistencia mecánica a la compresión" a uno, 2, 3, 7 y 28 días de su mortero normalizado. Para la determinación de dicha resistencia se emplea una probeta de mortero normalizado, amasado según el Pliego RC-75 p. 33, apartado 7.6.15 (Ver párrafos siguientes). Los cementos más resistentes superan los 500 Kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días. ( 1 Kg/cm<sup>2</sup> = 0,1 MPa).

Mortero normalizado: Como hay muchas variables que influyen en la resistencia, como son las proporciones de la mezcla, la forma del amasado, su duración, la temperatura ambiente y la de la mezcla, la cantidad de aire ocluido, su

porosidad, las dimensiones de la probeta, las condiciones de humedad y temperatura de su conservación, las condiciones de rotura de ensayo, es decir, superficie, forma y dureza de las placas de presión, velocidad de carga, vibraciones y golpes durante el ensayo de rotura y otras más, se hace necesaria la existencia de unas normas de ensayo y un riguroso cuidado en seguirlas. Las condiciones de norma RC-75, que son las que se siguieron en los ensayos expuestos aquí, se pueden resumir así:

Se mezclan en una amasadora 500 gramos de cemento (clinker molido + 5% de yeso) con 250 gr de agua destilada y 1500 gr de arena de Segovia (que posee una distribución granulométrica de acuerdo con la norma RC-75) manteniéndose los materiales y la amasadora entre 19 y 23 °C, y la humedad relativa de la sala de trabajo al 50%. Se sigue una cadencia de tiempos y velocidad de agitación determinada, al cabo de los cuales se rellena en dos capas un molde para tres probetas y se somete a 60 golpes en 60 segundos, al cabo de los cuales se alisan las probetas y se mantienen 24 horas en atmósfera con un 100% de humedad relativa a 21°C. Al cabo de este tiempo se desmoldan las probetas y se guardan en agua a 21°C hasta el momento de su rotura.

### 1.3 PROCESO DE CLINKERIZACION

Durante el proceso de cocción de la mezcla primaria, ocurren en el intervalo de 400 a 1450 °C una serie de reacciones como resultado de las cuales el CaO se combina totalmente con la sílice, alúmina y óxido de hierro. La preparación de la mezcla puede llevarse a cabo por vía húmeda, semiseca o seca, siendo esta última la más favorable desde el

punto de vista del balance térmico.

A la cocción sigue un enfriamiento relativamente rápido. Ello conduce a valores más altos de resistencia a la compresión y flexotracción, pero además es necesario hacerlo así para evitar la disminución del contenido de  $C_3S$  por descomposición del mismo ( en el rango de 1210 a 1025 °C) dando  $C_2S$  y  $CaO$ .

Sin embargo, un enfriamiento demasiado rápido ("quenching") es contraproducente desde el punto de vista técnico ya que da lugar a una pérdida de resistencia.

Recientemente se ha demostrado (7,8) que el enfriamiento en una atmósfera que contenga oxígeno conduce a valores más altos de resistencia. Asimismo el enfriamiento rápido dejando caer el clinker a unos 1200 °C sobre agua, donde se enfría hasta unos 500°C, terminando de enfriarse y secarse al aire, se está empleando con buenos resultados, especialmente en los cementos blancos, ya que este proceso aumenta su blancura.

## 1.4 OTROS CEMENTOS

### 1.4.1 CEMENTOS COMPUESTOS

Los cementos compuestos (9) se fabrican, normalmente, moliendo el clinker de cemento Portland con yeso y una cantidad de material reactivo frente a la cal, como son las escorias granuladas de alto horno, las puzolanas o las cenizas volantes.

También pueden prepararse mezclando estos materiales previamente molidos por separado.

### 1.4.2 CEMENTOS PARA USOS ESPECIALES

Además del cemento Portland y de los cementos compuestos hay otros cementos de menor consumo para usos especiales, como son:

Cemento blanco: Se obtiene a partir de materias primas casi exentas de hierro y de otros metales de transición evitándose su contaminación durante el proceso de fabricación y, como se ha mencionado en 1.3, enfriando bruscamente el clinker desde 1200 °C, aproximadamente, con agua (10). Si no se enfria con agua, el cemento, en vez de blanco verdoso resulta amarillento debido seguramete al cambio en el estado de oxidación de pequeñas cantidades de hierro. Las características físicas, aparte del color, y mecánicas son, en cualquier caso, análogas a las del cemento Portland siendo el índice de blancura un factor muy importante desde el punto de vista comercial.

Cementos expansivos o de retracción compensada (11): Son cementos que se preparan para que se expandan en una pequeña proporción durante los primeros días de hidratación y compensen así la retracción posterior por secado. Con ello se pretende reducir la formación de fisuras por retracción. En EE.UU. se fabrican estos cementos adicionando un sulfoaluminato de calcio anhidro, que puede suministrarse por separado, y que al amasarse produce una cantidad elevada de "ettringita" (sulfoaluminato cálcico hidratado,  $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12} \cdot 25 \text{H}_2\text{O}$ ). Estos cementos vienen regulados por la norma ASTM C-845. En Europa y Japón se utilizan el óxido de magnesio ó el óxido de calcio como agentes expansivos.

Cementos con fraguado regulado: Son de composición similar a los cementos Portland excepto en que el clinker con que se fabrican contiene una pequeña cantidad de fluoruros, con lo que tienen un tiempo de fraguado más corto (12).

Cementos para pozos de petróleo: Se fabrican

expresamente para la impermeabilización de las zonas del interior del sondeo, requiriéndose que cumplan las especificaciones API (American Petroleum Institute). Para los pozos con zonas a muy altas temperaturas, se usan a veces cementos distintos del Portland, menos reactivos, como son las mezclas de silicato bicálcico y sílice molida muy fina (13).

Cementos de alta alúmina: Se utilizan especialmente para usos refractarios y se designan como de baja, intermedia y alta pureza (14).

Los cementos de alta alúmina y baja pureza se usan también para hormigones expuestos a medios ácidos, o a ciertas aguas residuales industriales, o para reparaciones cuando se requieren muy altas resistencias iniciales.

La norma ACI:547R-79 da alguna información adicional acerca de estos cementos y su uso.

Cementos plásticos: Se utilizan como morteros de estuco. Son cementos Portland modificados por la adición de pequeñas cantidades de ciertas sustancias que suministran al mortero mayor plasticidad y favorecen su utilización como estuco (15).

Cementos impermeables: Son cementos Portland molidos con ácido esteárico u otro material hidrófobo (16).

Cementos de fosfato de magnesio: Son cementos distintos al Portland de endurecimiento rápido que se utilizan en el parchado de carreteras. Resultan de la mezcla de dos partes separadas consistentes en un polvo seco y un líquido con ácido fosfórico que se mezcla con el polvo, o bien son productos de un solo componente (fosfato de magnesio) al que se le adiciona

agua exclusivamente (17). Análogo a estos cementos es el cemento Sorel, fabricado con oxocloruro de magnesio y un polvo inerte.

### 1.5 MINERALES DEL CEMENTO. DIAGRAMAS DE FASES

Los principales constituyentes de los cementos, así como de las escorias de alto horno y de las puzolanas, son compuestos que contienen Ca, Si, Al, Fe, O, S, e H.

El análisis químico de estos materiales se expresa en porcentajes de sus óxidos: CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub> y agua.

Aparte de los anteriores componentes principales existen en el cemento otros elementos minoritarios pero de influencia considerable en sus propiedades. Son: Mg, K, Na, P, Ti, Zn, Mn, Cr y F.

Estos elementos se encuentran formando compuestos cristalinos, los principales de los cuales se recogen en la tabla I (18,19), es decir, el cemento se compone principalmente de dos silicatos de calcio, un ferrito aluminato de calcio, un ferrito de calcio, y tres compuestos de estructura más sencilla como son el óxido de magnesio, de calcio y el yeso.

En la figura 1 se muestra el diagrama de fases CaO-SiO<sub>2</sub> (20), en el que se observa la existencia de cuatro compuestos además de los de partida: silicato monocálcico (wollastonita), diortosilicato tricálcico (kilchoanita), silicato bicálcico (larnita, bredigita) y silicato tricálcico (alita).

El silicato tricálcico, C<sub>3</sub>S (alita) está constituido por un 73.69 % de CaO y un 26.31 % de SiO<sub>2</sub>. Se descompone, sin



fundir, por encima de los 1900 °C en  $\alpha$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> y CaO. Al tener una "fusión incongruente" no puede obtenerse por fusión y posterior enfriamiento de una mezcla de cal y sílice sino por reacción entre estos últimos compuestos a temperaturas por debajo de los 1900 °C. Por enfriamiento lento vuelve a descomponerse al llegar a 1250 °C en  $\beta$ -Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> y CaO. Así pues, el campo de estabilidad del C<sub>3</sub>S va desde los 1250 °C a los 1900 °C.

De acuerdo con la figura 2 si se parte de una mezcla en el punto A a temperatura superior a los 2400 °C, al llegar al punto M, a 2500 °C, comienza a solidificar CaO (punto N). El líquido sigue la recta MKE y se va empobreciendo en CaO y enriqueciéndose en SiO<sub>2</sub>. El punto K indica la composición del líquido a 2300 °C. El punto E es la solidificación a 2065 °C de C<sub>2</sub>S (32.2% de sílice y 67.8% de CaO) junto con CaO en proporción de 43% de CaO y 57% de C<sub>2</sub>S, pero al bajar de los 1900 °C reaccionan dando C<sub>3</sub>S y CaO en la proporción del 23% de CaO y 77% de C<sub>3</sub>S. Por debajo de los 1250 °C el C<sub>3</sub>S se descompone en  $\beta$ -C<sub>2</sub>S y CaO, y al llegar a los 705 °C se transforma el  $\beta$ -C<sub>2</sub>S en  $\gamma$ -C<sub>2</sub>S.

Al considerar al óxido de aluminio se tiene el diagrama de fases ternario de la figura 3 (21), en el que aparecen nuevos compuestos como la mullita, anortita, gehlenita etc.

En la tabla II se recoge el rango de composición y de finura de los cementos normalizados de la ASTM C-150. La composición del C<sub>4</sub>AF puede variar de unos cementos a otros dado el carácter de solución sólida de dicha fase.

TABLA I

Principales compuestos presentes en el cemento

Fórmula	Nombre	Abreviatura usual
$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ( $\text{Ca}_3\text{SiO}_5$ )	Silicato tricálcico	$\text{C}_3\text{S}$
$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ( $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ )	Silicato bicálcico	$\text{C}_2\text{S}$
$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ( $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ )	Aluminato tricálcico	$\text{C}_3\text{A}$
$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ( $\text{Ca}_4\text{Fe}_2\text{Al}_2\text{O}_{10}$ )	Ferrito aluminato tetracálcico	$\text{C}_4\text{AF}$
$2\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ( $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_6$ )	Ferrito dicálcico	$\text{C}_2\text{F}$
$\text{MgO}$	óxido de magnesio (magnesia)	M
$\text{CaO}$	óxido de calcio	C
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	yeso	$\text{CSH}_2$

TABLA II

Rango de composición y de finura de los cementos normalizados de la ASTM C-150

Tipo ASTM	% $\text{C}_3\text{S}$	% $\text{C}_2\text{S}$	% $\text{C}_3\text{A}$	% $\text{C}_4\text{AF}$	Finura Blaine ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )
I	42-65	10-30	0-17	6-18	3000-4000
II	35-60	15-35	0-8	6-18	2800-3800
III	45-70	10-30	0-15	6-18	4500-6000
IV	20-30	50-55	3-6	8-15	2800-3200
V	40-60	15-40	0-5	10-18	2900-3500

## 1.6 MODIFICACIONES CRISTALINAS DEL $C_3S$ Y SU ESTABILIZACION

Los difractogramas de rayos X registrados a diferentes temperaturas muestran la presencia de hasta seis estructuras cristalinas diferentes para el  $C_3S$  (22). Dichas estructuras pueden estabilizarse ocluyendo en la red ciertas cantidades de iones extraños, lo que permite estudiarlas, a la temperatura ambiente, así como sus parámetros cristalinos. En resumen se tiene:

- A temperaturas por encima de 1050 °C la estructura es trigonal-romboédrica.
- A 1050 °C cambia a monoclinica (M-II) por deformación del plano basal exagonal.
- A 990 °C tiene lugar una transformación discontinua de la celdilla unidad sin cambiar la simetría monoclinica (M-II ---> M-I).
- A 940 °C se produce un cambio de simetría monoclinica a triclinica (M-I ---> T-III)
- A 920 °C no hay cambio de simetría pero hay una reducción en el volumen de la celdilla unidad (T-III ---> T-II).
- A 600 °C, sin cambiar la estructura vuelven a cambiar las dimensiones de la celdilla unidad (T-II ---> T-I).

En la figura 4 se recoge lo más significativo de los diagramas de DRX de cada una de las seis modificaciones mencionadas incluyéndose en la tabla III los correspondientes parámetros reticulares.

En la figura 5 se muestra la deformación del plano basal de la celdilla exagonal, o pseudo-ortoexagonal. En las figuras 6 y 7 se representa la estructura del  $C_3S$  según Jeffery (23).

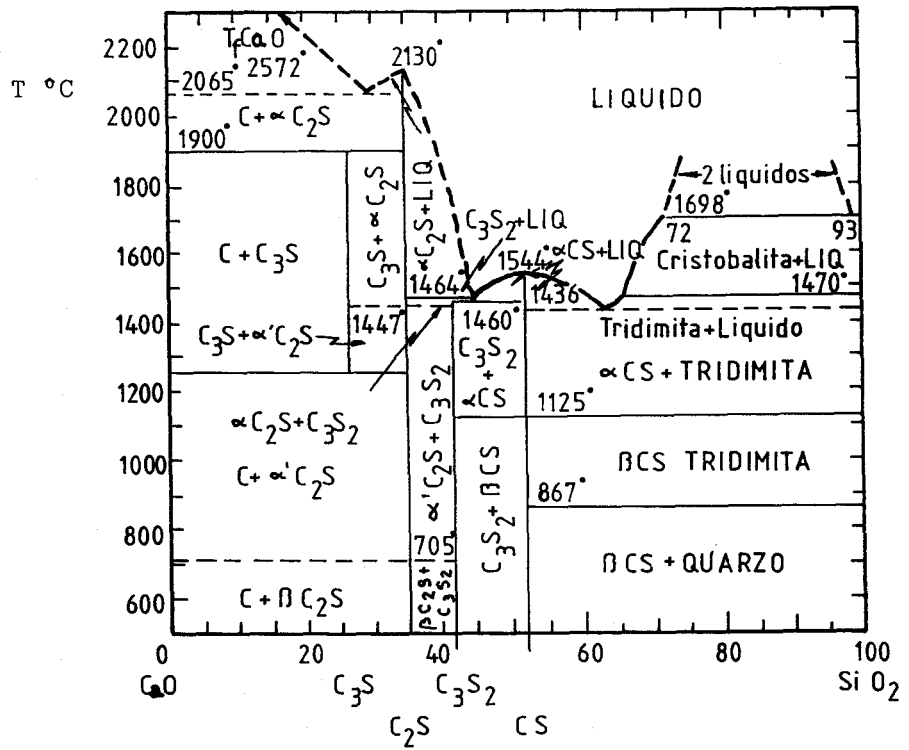


Fig. 1 Diagrama de fases CaO-SiO<sub>2</sub> (20)

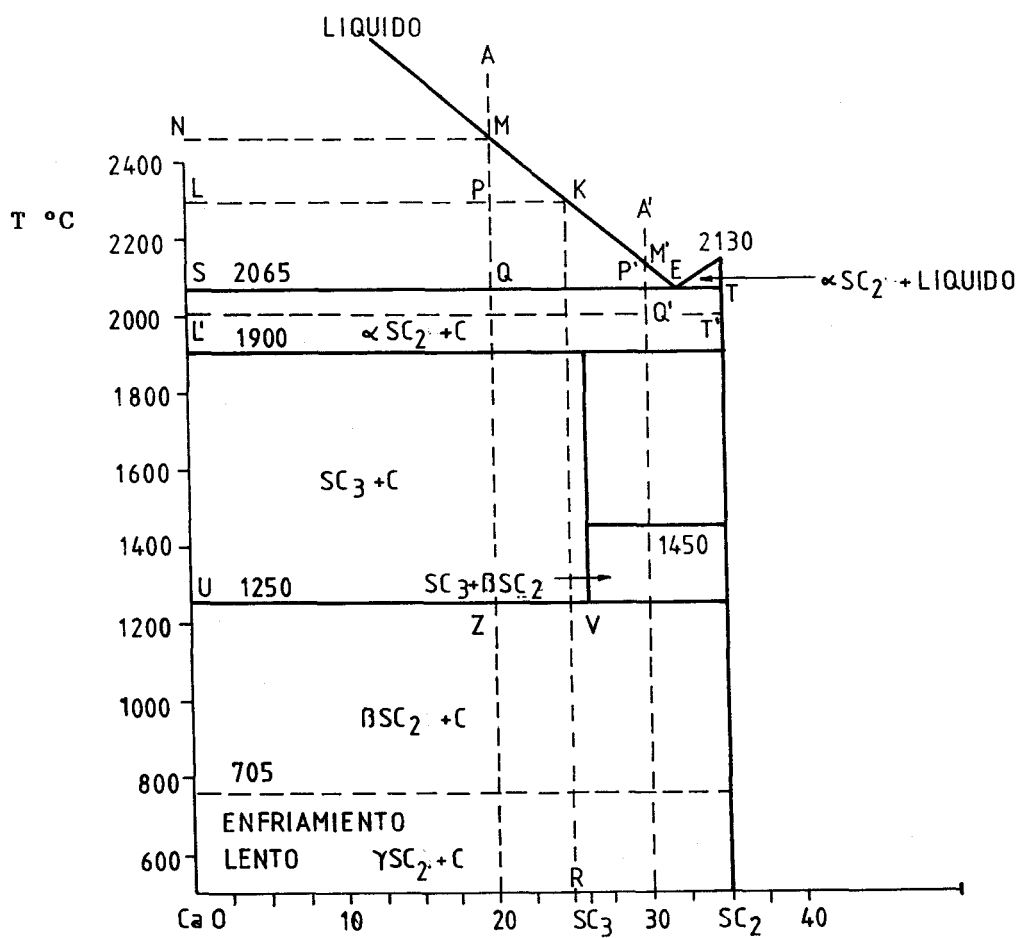


Fig. 2 Detalle del diagrama de fases CaO-SiO<sub>2</sub> de la fig. 1

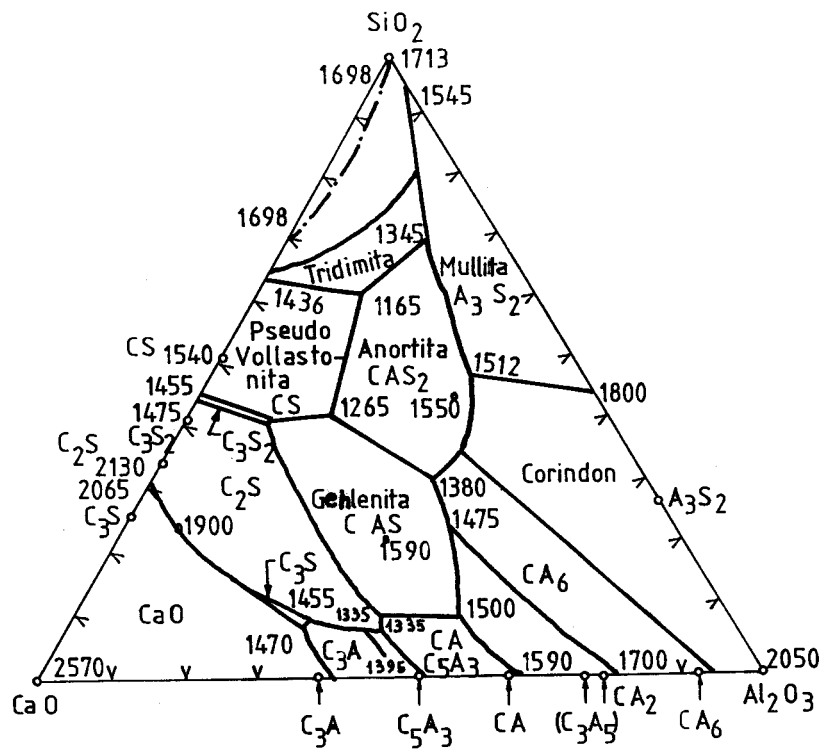
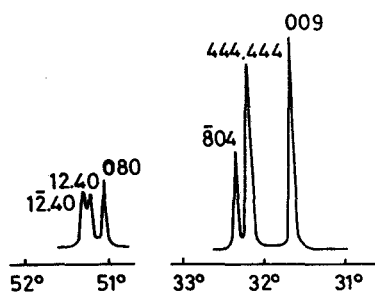
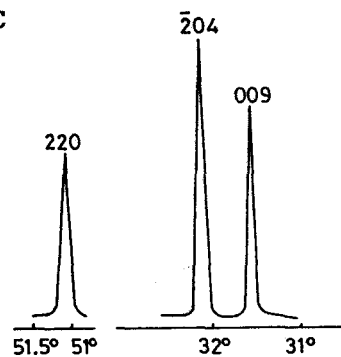


Fig. 3 Diagrama de fases ternario CaO-SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (21)

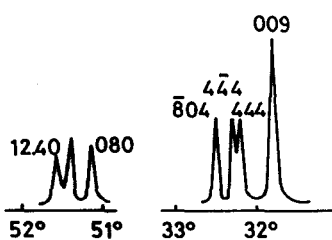
940 °C

 $C_3S$ : Triclinico "T<sub>III</sub>"

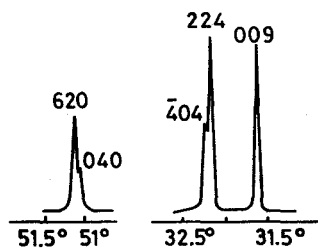
1100 °C

 $C_3S$ : Romboédrico "R"

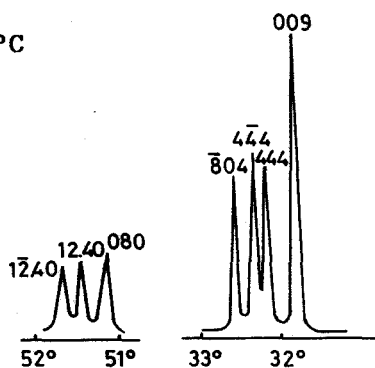
680 °C

 $C_3S$ : Triclinico "T<sub>II</sub>"

1000 °C

 $C_3S$ : Monoclinico "M<sub>II</sub>"

605 °C

 $C_3S$ : Triclinico "T<sub>I</sub>"

985 °C

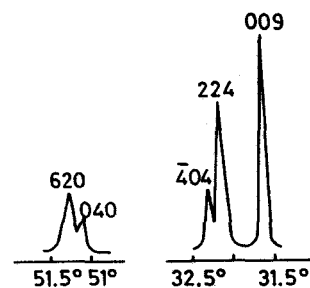
 $C_3S$ : Monoclinico "M<sub>I</sub>"

Fig. 4 Picos de difracción de rayos-X más significativos de cada una de las seis modificaciones alotrópicas del  $C_3S$  (22)

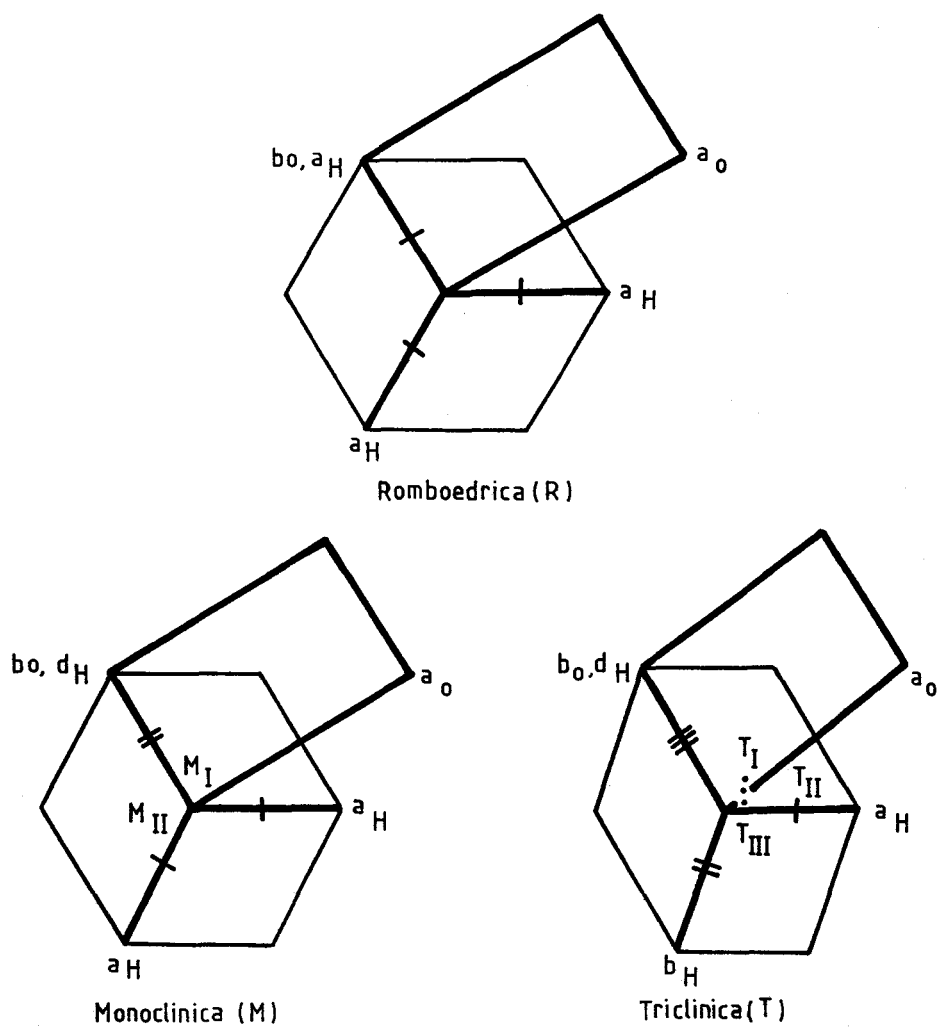


Fig. 5 Deformación del plano basal de la celdilla exagonal o pseudo-ortoexagonal del  $C_3S$



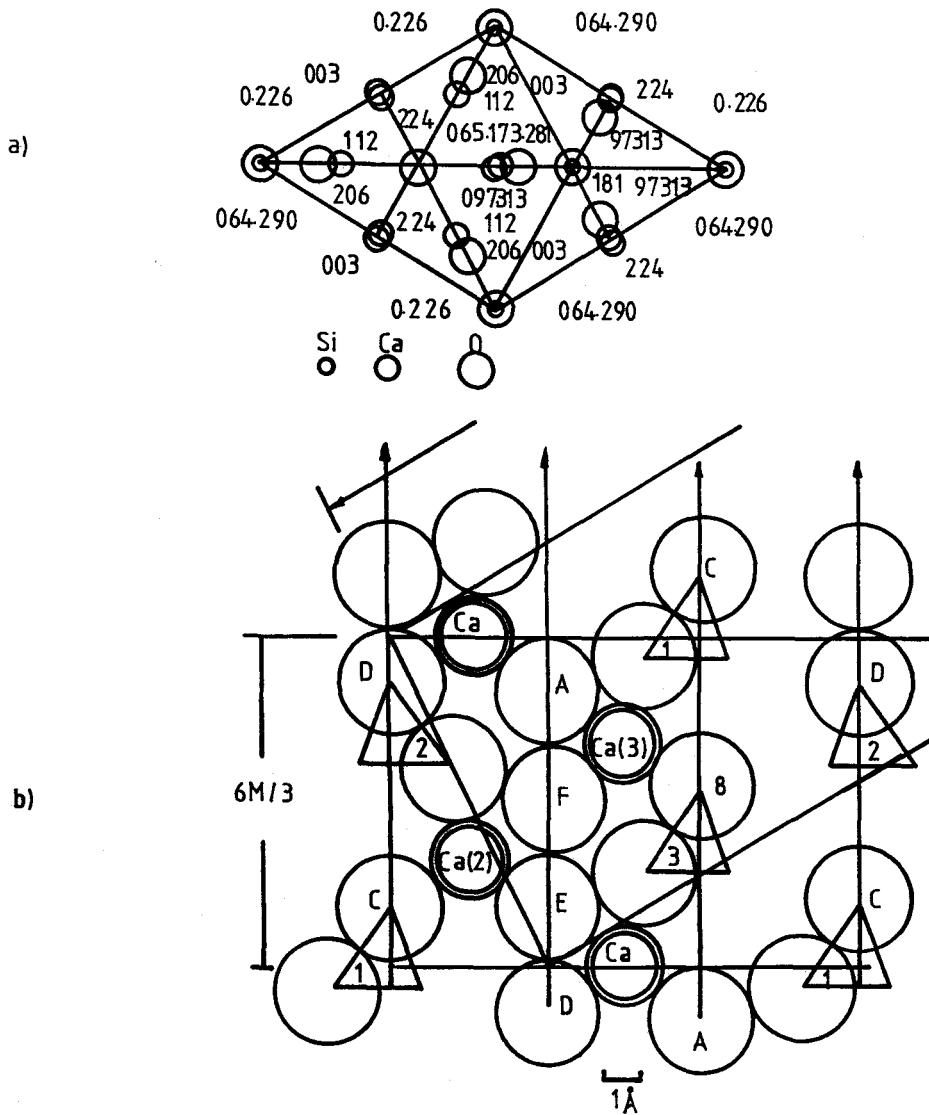




Fig. 6 Estructura del  $\text{CaS}$  (23): a) plano basal, b) sección vertical a lo largo de la diagonal de la celdilla exagonal.

 plano de simetria  
 eje trigonal

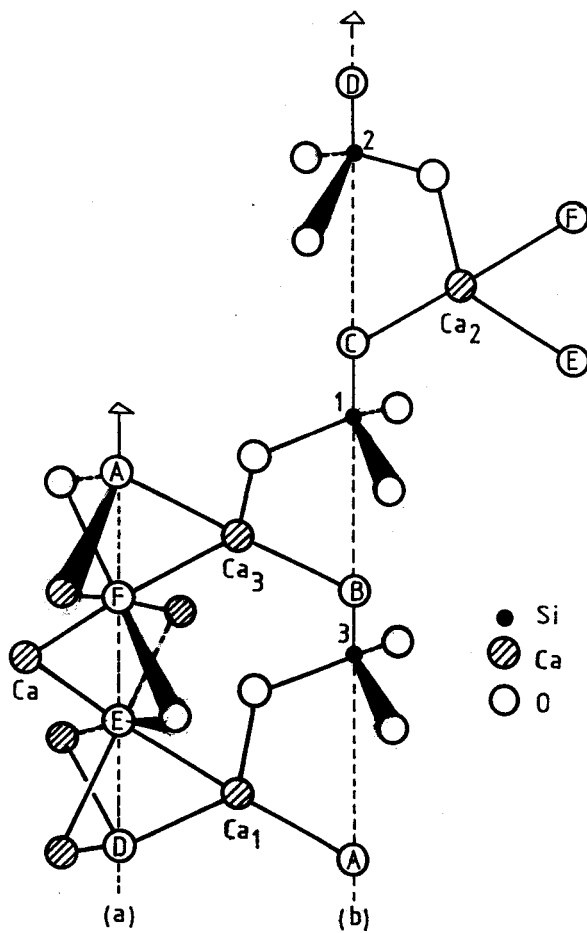


Fig. 7 Estructura del silicato tricálcico (23): Dos columnas adyacentes de tetraedros y átomos de oxígeno rodeados de átomos de calcio.

TABLA III

Constantes reticulares de las modificaciones cristalinas del  $\text{CaS}$  puro.

T ( $^{\circ}\text{C}$ )	Alótopo	a (Å)	b (Å)	c (Å)	$\alpha$ ( $^{\circ}$ )	$\beta$ ( $^{\circ}$ )	$\gamma$ ( $^{\circ}$ )
1100	R	12,384	7,150	25,560	90	90	90
1000	M <sub>II</sub>	12,342	7,143	25,434	90	90	90
985	M <sub>I</sub>	12,332	7,142	25,420	99	89,85	90
940	T <sub>III</sub>	24,633	14,29	25,412	90,06	89,86	89,91
680	T <sub>II</sub>	24,528	14,27	25,298	89,98	89,75	89,82
20	T <sub>I</sub>	24,398	14,21	25,103	89,91	89,69	89,69

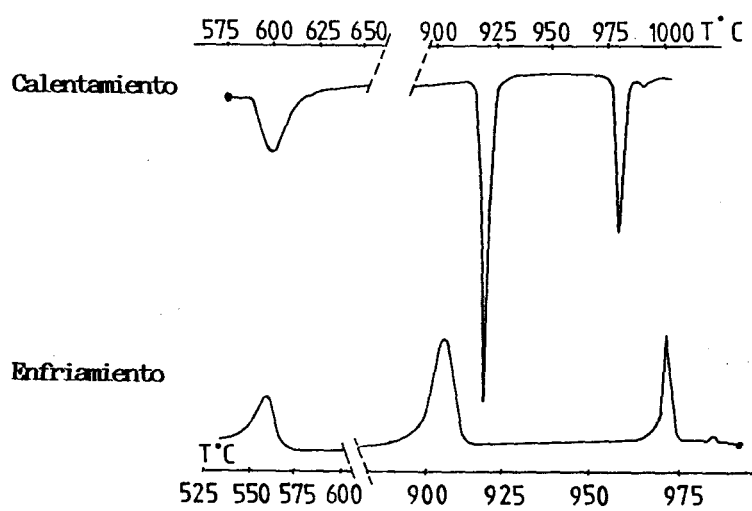


Fig. 8 Análisis tèrmico diferencial del  $C_3S$  (24)

El análisis térmico diferencial del  $C_3S$  muestra (figura 8) cuatro picos correspondientes a procesos reversibles a las temperaturas de 600, 920, 980 y 990 °C. El efecto térmico de alguna de estas transformaciones es muy débil, más pequeño aún que el de la transformación  $\alpha \rightarrow \beta$  del cuarzo, de 1.4 cal/gr, no poniéndose de manifiesto más que mediante el microanálisis térmico diferencial (24).

### 1.7 MODIFICACIONES CRISTALINAS DEL $DEL C_2S$

Del silicato bicálcico se conocen cinco formas cristalinas (25-46):

forma  $\alpha$ , estable hasta 1420°C

forma  $\alpha'_H$ , estable entre 1420 y 1160°C

forma  $\alpha'_L$ , estable entre 1160 y 650°C

forma  $\beta$ , estable entre 650 y 500 °C

forma  $\chi$ , estable por debajo de 500°C.

Los difractogramas de DRX de estas variedades se muestran en la figura 9, y en las tablas IV y V se indican los datos cristalográficos de las mismas. La representación de sus estructuras se encuentra en las figuras 10 a 12.

#### Diagrama de enfriamiento del $C_2S$

Partiendo de la forma  $\alpha$ , estable por encima de 1420 °C, a 1420 °C tiene lugar la transformación  $\alpha \rightarrow \alpha'_H$  que es reversible sin histéresis. A 1160 °C se transforma la forma  $\alpha'_H$  en la  $\alpha'_L$ . A 650 °C se produce el tránsito  $\alpha'_L \rightarrow \beta$  que es reversible con una histéresis de 25 °C. A 500 °C se transforma la forma  $\beta$  en  $\chi$ .

La última transformación exige la rotación de los tetraedros de  $SiO_4$  por lo que algunos de los átomos de Ca han de efectuar un gran movimiento con objeto de conseguir la estructura rómbica tipo olivino del silicato bicálcico.

TABLA IV

Datos estructurales de las modificaciones  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\alpha'_L$ ,  $\alpha'_H$  y  $\alpha$  del  $\text{Ca}_2\text{S}$

Modifi- cación	Tipo de estruc- tura	Grupo espa- cial de simetria	Conte- nido por celda	Coordi- nación del Ca	Constantes reticulares	Ref.
$\gamma$	Typo Oli- vino	Rómbico $2_1 2_1 2_1$ P----- c m n	Z=4	Ca(1)=6 Ca(2)=6	a=5,091 b=6,782 c=11,371	(28)
$\beta$	Typo bajo $\text{K}_2\text{SO}_4$ muy defor- mado	Monocl. $2_1$ P 11 -- n	Z=4	Ca(1)=6+6 Ca(2)=8	a=9,28 b=5,48 c=6,76 $\beta=94^\circ 33'$ estabilizada por $\text{B}_2\text{O}_3$	(29)
$\alpha'_L$	Typo bajo $\text{K}_2\text{SO}_4$ algo deformado	Rómbico Ccm $2_1$ (son po- sibles otros gru- pos espac.)	Z=16	Ca(1)=10 Ca(2)=9 (subcelda)	a=18,80 b=11,07 c=6,85 estabilizada por Ba	(31)
$\alpha'_H$	Typo bajo $\text{K}_2\text{SO}_4$	Rómbico $2_1 2_1 2_1$ P ----- c m n	Z=4	Ca(1)=10 Ca(2)=9	a=5,45 b=5,573 c=6,86 a 1250°C	(27)
$\alpha$	Typo Gla- serita	Trigonal P3m 1	Z=2	Ca(1)=10 Ca(2)=6 Ca(3)=6+6	a=5,45 c=7,19	(35)
$\alpha$	Typo alter- nativo	Hexagonal P6 $\frac{3}{2}$ mc	Z=2	Ca(1)=4+9 Ca(2)=6+3	a=5,45 c=3x7,20 estabilizada por $\text{V}_2\text{O}_5$	(32)

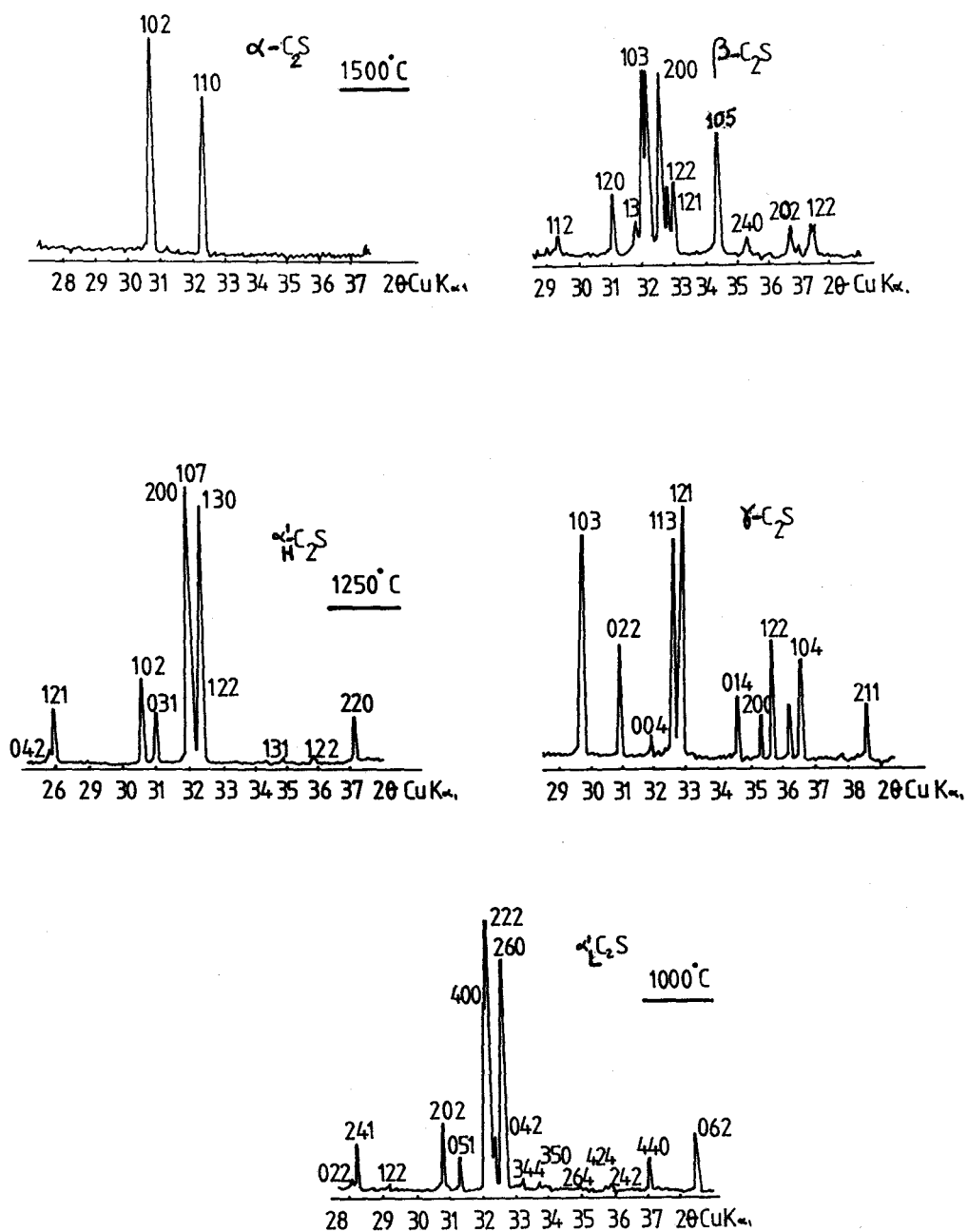


Fig. 9 Diagramas de difracción de rayos-X de cada una de las cinco formas cristalinas del  $C_2S$  (27)

TABLA V

Datos cristalográficos de las diferentes formas del  $C_2S$  (27)  
 (Errores medios en a, b y c =  $+ 2 \times 10^{-3}$  A;  $\beta + 2 \times 10^{-2}$  °)

T, °C	Forma alotrópica	Parámetros cristalinicos				gravedad especifica
		a, A	b, A	c, A	$\beta$ , °	
1500	$\alpha$	5,526		7,307		2,94
1250	$\alpha'_H$	5,593	9,535	6,860		3,11
1000	$\alpha'_L$	11,184	18,952	6,837		3,14
650	$\beta$	5,554	6,813	9,421	93,60	3,20
20	$\gamma$	5,085	6,773	11,237		2,94



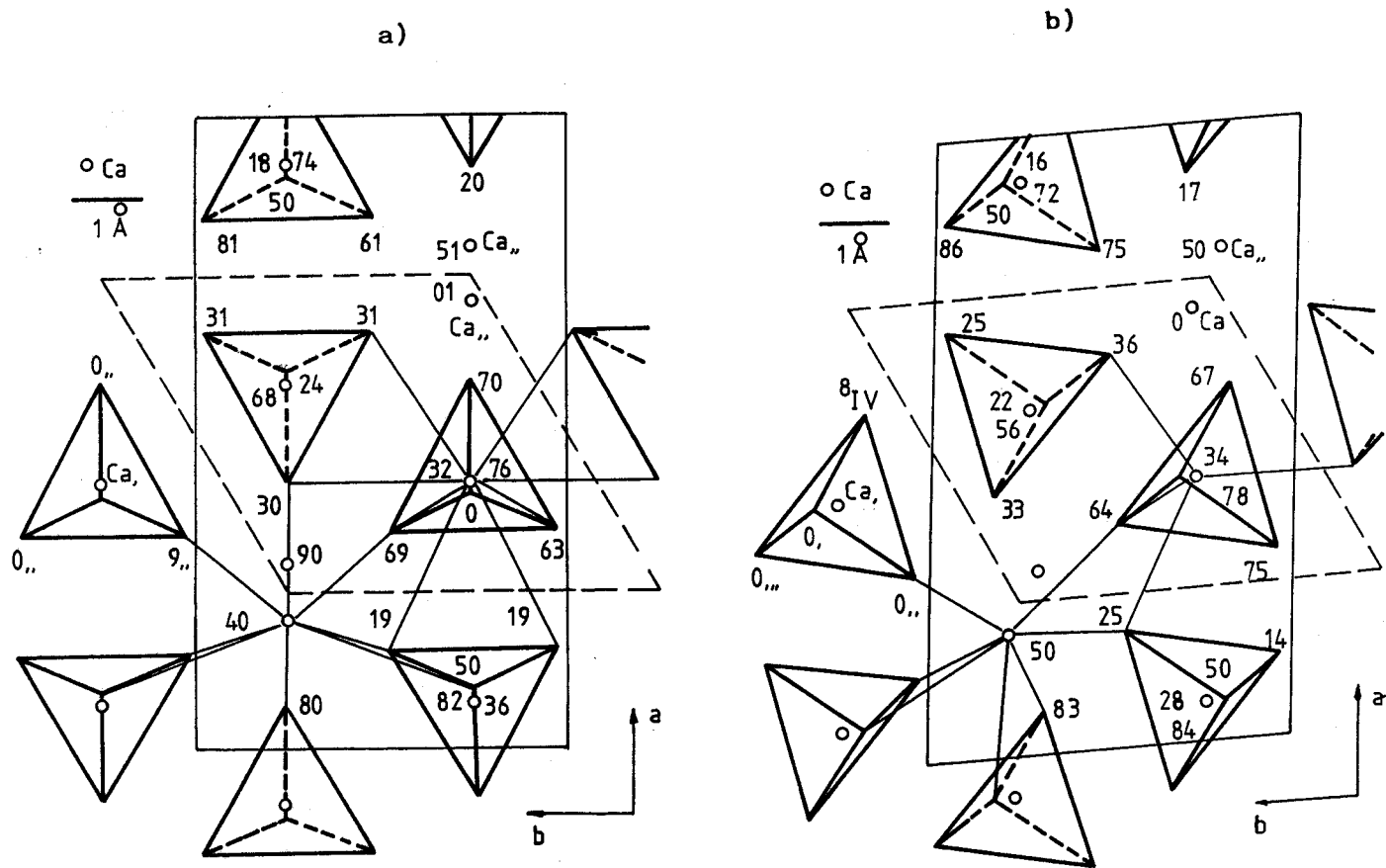


Fig. 10 a) Proyección de la estructura del  $\alpha'$ -H-C<sub>2</sub>S a lo largo del eje c, según la estructura del bajo-K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (31)  
 b) Proyección de la estructura del  $\beta$ -C<sub>2</sub>S a lo largo del eje c (29).

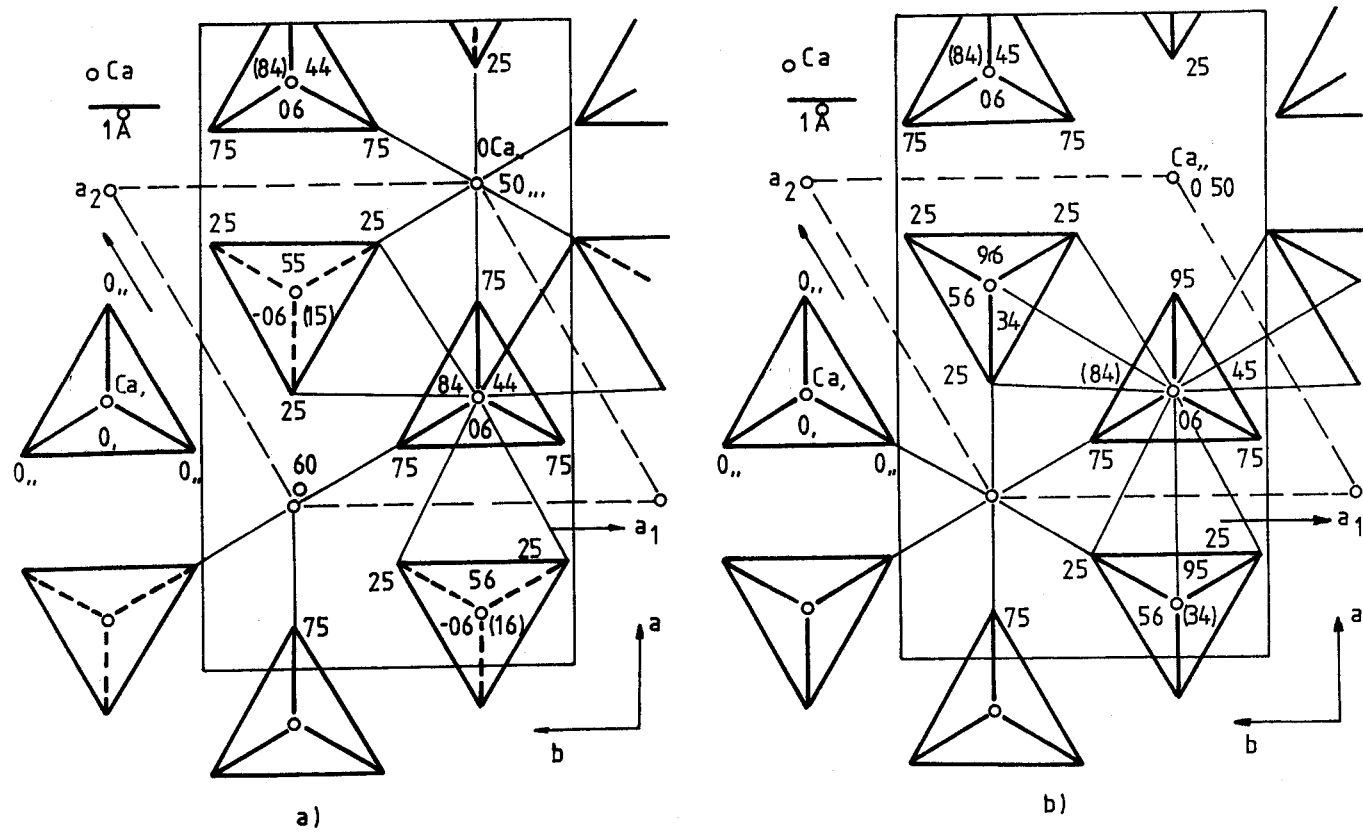


Fig. 11 Estructura del  $\alpha$ -C<sub>2</sub>S proyectada a lo largo del eje c.  
 a) Basada en la estructura de la glaserita (P3m 1) (35)  
 b) Basada en el grupo espacial P6<sub>3</sub>mc (34)

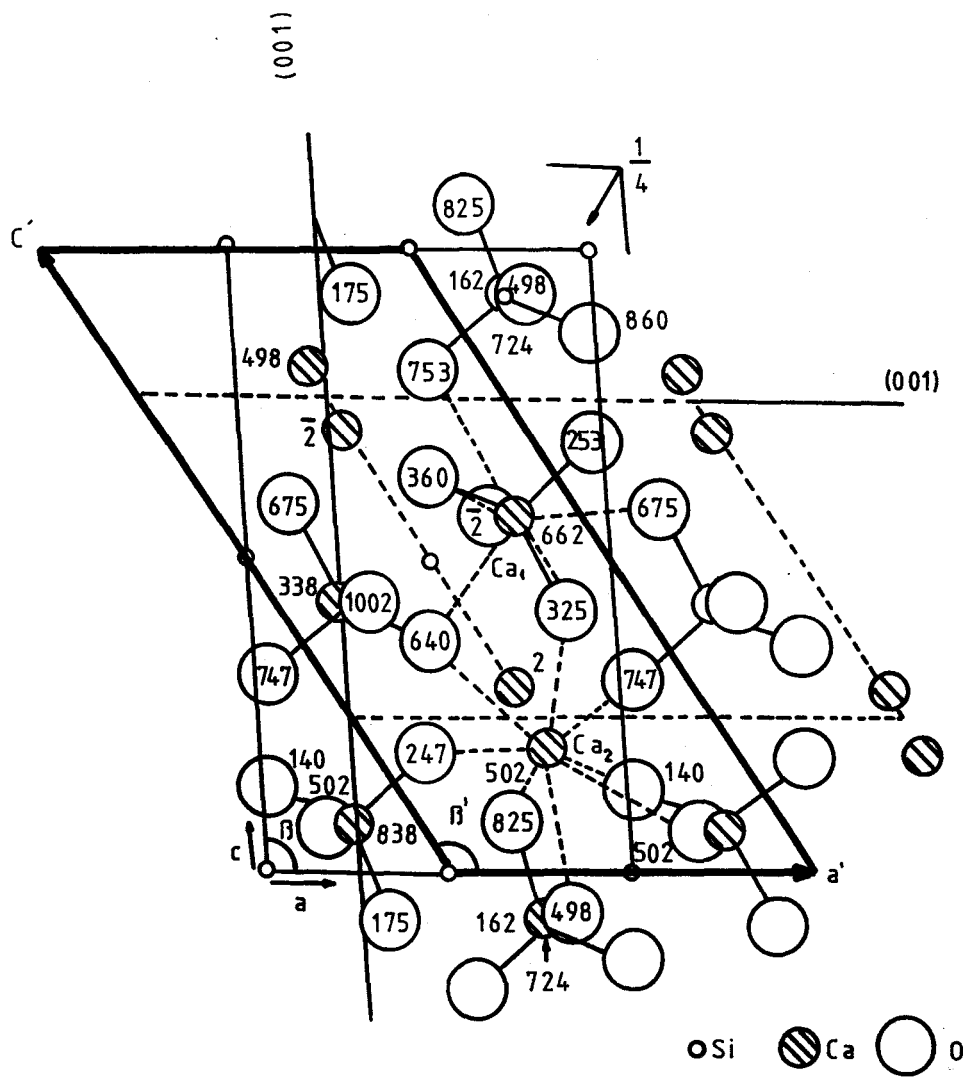


Fig. 12 Proyección de la estructura del  $\beta\text{-C}_2\text{S}$  sobre un plano perpendicular al eje  $b$  (29).

### Diagrama de calentamiento del $C_2S$

Puede partirse de la forma  $\beta$  o  $\gamma$ .

Si se parte de la forma  $\beta$ - $C_2S$  ocurren las siguientes transformaciones:

A 675 °C la forma  $\beta$  se transforma en la  $\alpha'_L$ .

A 1160 °C la forma  $\alpha'_L$  se transforma en  $\alpha'_H$ .

A 1420 °C la forma  $\alpha'_H$  se transforma en la forma  $\alpha$ .

Si se parte del  $\gamma$ - $C_2S$  se tiene:

De 725 °C a 860 °C hay una transformación lenta  $\gamma$  --->  $\alpha'_L$  sin pasar por la forma  $\beta$ . Sin embargo, si se somete a presión aparece la forma  $\beta$  y puede conseguirse incluso un punto triple de coexistencia a 193 KPa y 410 °C.

En las figura 13 se muestran los diagramas de enfriamiento y calentamiento del  $\beta$  y silicato bicálcico.

### 1.8 ALUMINATO TRICALCICO

Según Regourd y Guinier (47) en el aluminato tricálcico estabilizado con  $Na_2O$  se distinguen las siguientes formas:

- a) cúbica
- b) tetragonal
- c) rómbica I+cúbica
- d) monoclinica M
- e) rómbica I

El rango de estabilidad de cada una de estas formas posibles queda indicado en el diagrama de fases  $Na_2O-C_3A$  de la figura 14. La figura 15 contiene lo más característico de los diagramas de difracción de rayos X de cada forma.

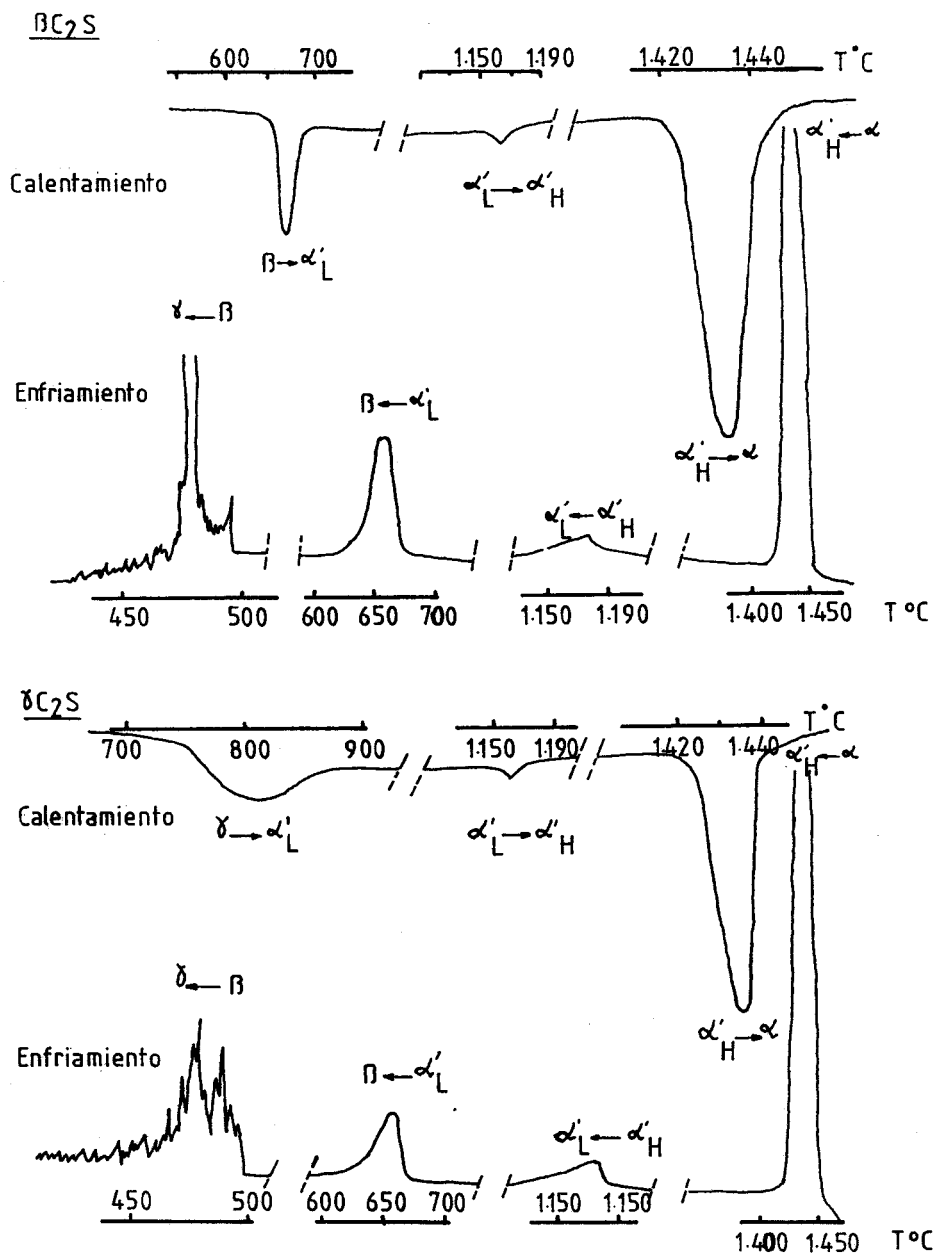


Fig. 13 Diagramas de ATD del  $\beta\text{-C}_2\text{S}$  y  $\delta\text{-C}_2\text{S}$

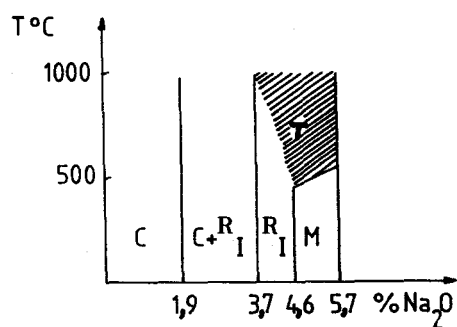


Fig. 14 Rango de estabilidad de las distintas fases del C<sub>3</sub>A estabilizado con Na<sub>2</sub>O (47)

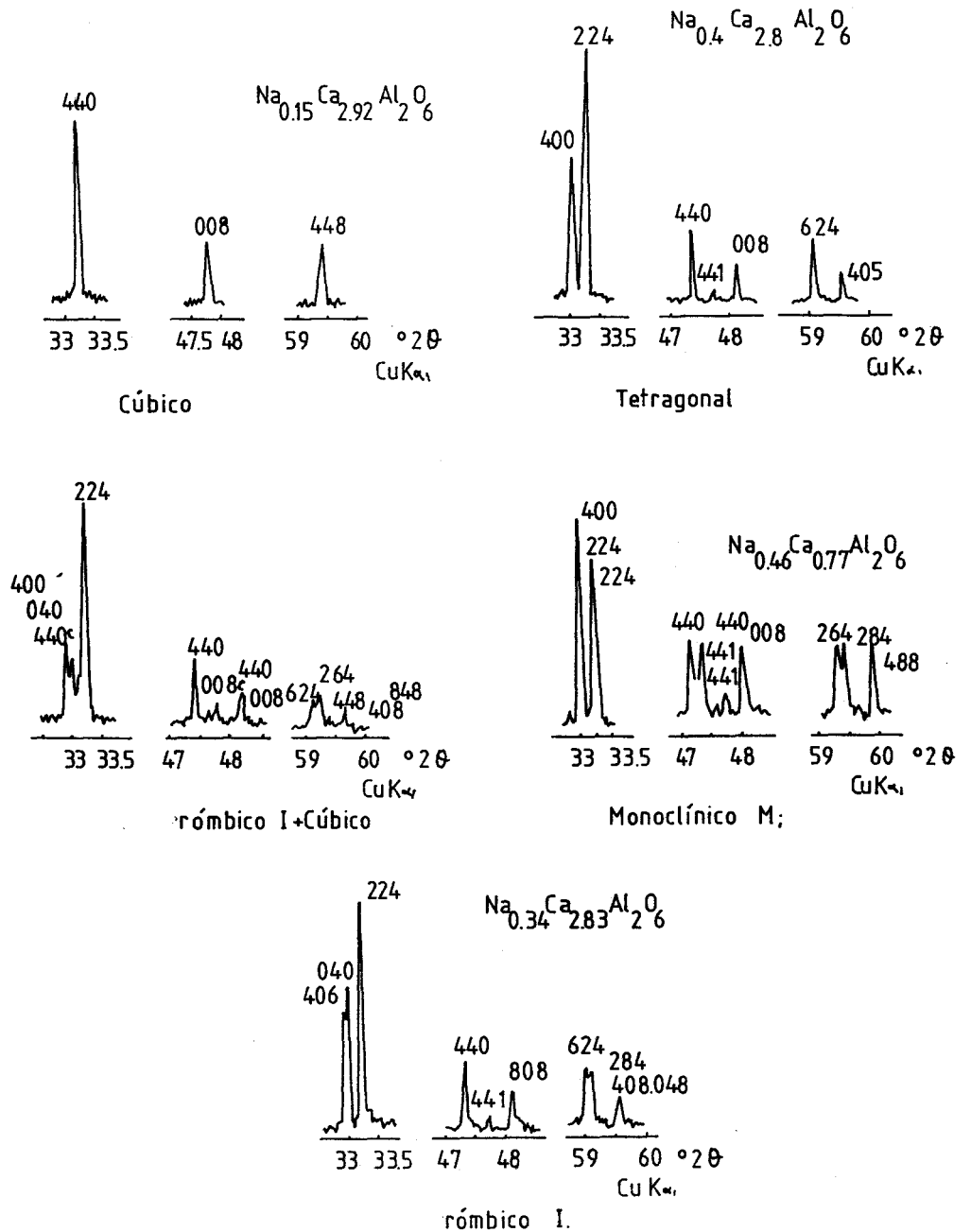


Fig. 15 Principales características de los diagramas de difracción de rayos-X correspondientes a las diversas formas del aluminato tricálcico (47)

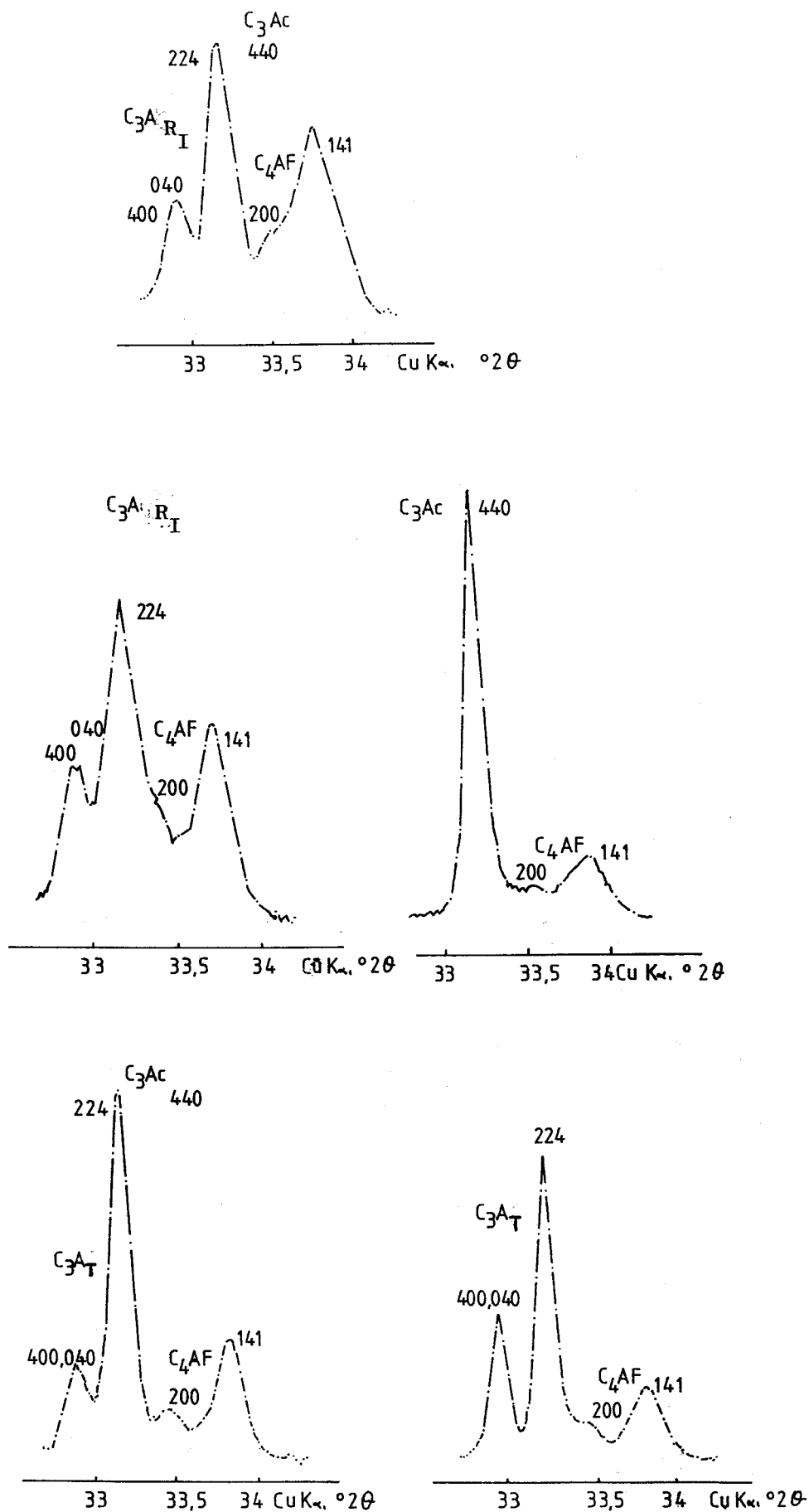


Fig. 16 Principales características de los diagramas de difracción de rayos-X correspondientes a diversas formas del  $C_3A$  y  $C_4AF$  (47)



### C<sub>3</sub>A en el clinker del cemento Portland

Para caracterizar la fase intersticial del clinker Regourd y colaboradores (47) eliminaron los silicatos por extracción con ácido salicílico en metanol. Los diagramas de los residuos mostraban las líneas del aluminato tricálcico y del ferrito aluminato tetracálcico, fig. 16. Usando la reflexión (008) (fig.15) se puede calcular el espaciado "c", siendo  $c_1=15.225$  (cúbico) y  $c_2=15.090$  A. La anchura de las líneas en los otros grupos característicos nos permite determinar el valor medio de los parámetros a y b de la segunda fase ( $a=b=10.849$  A). En los cementos existen sólo las formas cúbica, rómbica I, o la tetragonal. Sin embargo pueden coexistir dos formas, no siendo fácil la determinación cuantitativa de cada una de ellas cuando solapan las difracciones de rayos X características de las mismas, caso de los correspondientes a los planos (624) de la forma tetragonal y (264) de la rómbica I, que solapan dando lugar a una banda ancha. En todo caso la aparición de esta banda ancha es ya un fuerte indicio de la existencia de ambas formas del C<sub>3</sub>A.

Los cristales rómbicos son prismáticos y contienen un 2.72% de K<sub>2</sub>O y 0.55% de Na<sub>2</sub>O. Por otra parte, no es fácil analizar con el microanalizador del microscópio electrónico el contenido de diferentes elementos en las diferentes formas del C<sub>3</sub>A.

### 1.9 FASE FERRITICA

La fase ferrítica en los cementos comerciales es rómbica (48). Tratando el residuo de disolver los silicatos en ácido salicílico-metanol con una disolución de sacarosa se disuelve el aluminato tricálcico, quedando sólo el ferrito aluminato (49). Las difracciones de rayos-X correspondientes al

aluminato son, frecuentemente, anchos, debido a la composición variable (Tabla VI) (47), a la posibilidad de soluciones sólidas y a la entrada de iones extraños en la red cristalina. Parámetros cristalinos correspondientes a la fase ferrítica de varios clinkerés se muestran en la tabla VII (47).

## 2. RESISTENCIAS MECANICAS DEL CEMENTO

### 2.1 RESISTENCIAS MECANICAS DEL CEMENTO. GENERALIDADES

La calidad del cemento viene dada por su capacidad de aportar resistencia, sometiéndosele a diversos ensayos descritos para nuestro país en el Pliego de Recepción para Conglomerantes Hidráulicos RC-75 editado por el Servicio de Publicaciones del Ministerio de Obras Públicas que coincide esencialmente con el resto de las normas europeas. En la tabla VIII se representa la demanda de resistencia de un hormigón ordinario en el Reino Unido en función de la relación agua/cemento (50). Se observa, que para una misma relación de agua/cemento la especificación de resistencia exigida aumenta apreciablemente con los años.

### 2.2 CORRELACION ENTRE COMPOSICION MINERALOGICA Y RESISTENCIAS

En la pág. 38 del libro Manuales y Normas del Instituto Técnico de la Construcción y del Cemento (51), Calleja Carrete da los factores de resistencia en Kg/cm<sup>2</sup> para cada 1% de los

TABLA VI

Microanálisis de sonda electrónica de fases de ferrito aluminato en algunos clinkerés de cementos Portland (47).

Oxido	Clinker 1	Clinker 2	Clinker 3	Clinker 4	Clinker 5	Error absoluto.
CaO	49,3	47,6	47,0	47,3	46,6	0,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,9	18,8	18,5	18,9	17,1	0,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,7	21,9	21,2	23,5	23,1	0,8
SiO <sub>2</sub>	4,1	2,6	2,9	1,9	3,3	0,4
MgO	3,8	2,5	3,2	2,3	3,1	0,3
TiO <sub>2</sub>	1,3	2,3	2,1	2,0	2,1	0,2
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,6	0,9	0,6	1,1	0,1

TABLA VII

Parámetros cristalográficos de fases ferríticas de algunos clinkerés de cementos Portland (47).

Parámetros	a, A	b, A	c, A
C <sub>2</sub> AF del			
Clinker 1	5,335	14,62	5,517
2	5,340	14,55	5,535
3	5,344	14,57	5,540
4	5,350	14,55	5,555
5	5,347	14,56	5,555

TABLA VIII

Demanda de resistencias de hormigones (en  $N/mm^2$ ) en el Reino Unido en los últimos y para los próximos años según distintas relaciones agua/cemento.

Año	Relación agua/cemento				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
1950	46	36	28	22	17
1960	52	45	35	27	21
1970	66	51	40	31	24
1980	72	56	44	35	27
1990	77	60	47	38	30

constituyentes, tabla IX. Asimismo se indican en la tabla X las diferencias entre los valores calculados y los observados

Knofel (52) da una relación entre la composición de las fases y la resistencia del mortero, figura 17.

### 2.3 POLIMORFISMO

Gourdin, Demoulian, Hawthorn y Vernet de la Societé de Ciments Francais, CEREG. Francia (53) a partir de datos de 60 clinkerés calcinados en 32 hornos rotatorios diferentes, estudian la influencia de la composición química y mineralógica del crudo, el procedimiento de fabricación, la composición química del clinker y las formas alotrópicas de la alita y del aluminato en la resistencia mecánicas confirmando lo dicho por otros autores, como Regourd y Guinier (47), Harada y otros (54) según los cuales la composición química y la mineralógica potencial deducida de ella no son suficientes para predecir las resistencias mecánicas, ya que las variedades polimórficas de la alita y del aluminato tricálcico existentes tienen diferente actividad hidráulica y por tanto aportan una resistencia diferente según se encuentren en una u otra forma cristalina. No basta por tanto con indicar los contenidos mineralógicos sino que es necesario considerar la modificación polimórfica presente. La posibilidad de obtener una forma u otra depende de la temperatura del horno, de la velocidad de enfriamiento (55), y de la presencia y concentración de iones minoritarios como  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$  (56,57) y  $\text{PO}_4^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ,  $\text{Cl}^-$  (58) etc. En el caso de las muestras objeto de estudio en la presente Tesis la alita se encuentra casi exclusivamente en su forma romboédrica. Asimismo, es la forma  $\beta\text{-C}_2\text{S}$  la más abundante, siguiéndole a distancia la  $\alpha$ . En lo que respecta al  $\text{C}_3\text{A}$ , la única forma encontrada es la cúbica.

TABLA IX

Factores de resistencia (en Kg/cm<sup>2</sup>) por los que hay que multiplicar los porcentajes de los constituyentes más importantes del clinker para obtener la resistencia a la compresión del mortero normalizado, a distintas edades según la referencia (51).

Edad del mortero	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
1 día	0,287 ± 0,025	0,015 ± 0,027	0,730 ± 0,077	-0,190 ± 0,81
7 días	1,46 ± 0,084	-0,288 ± 0,084	3,35 ± 0,293	-0,014 ± 0,274
28 días	2,12 ± 0,112	0,274 ± 0,112	6,25 ± 0,323	-0,253 ± 0,372

TABLA X

Diferencias (en Kg/cm<sup>2</sup>) entre los valores calculados de acuerdo con los datos de la tabla IX y los observados experimentalmente para los cementos con los que se hicieron los cálculos que dieron lugar a los factores de resistencia indicados en dicha tabla IX.(51).

Edad del mortero	Diferencias medias (Kg/cm <sup>2</sup> )	Error porcentual
1 día	2,60	16
7 días	8,37	10
28 días	11,2	8

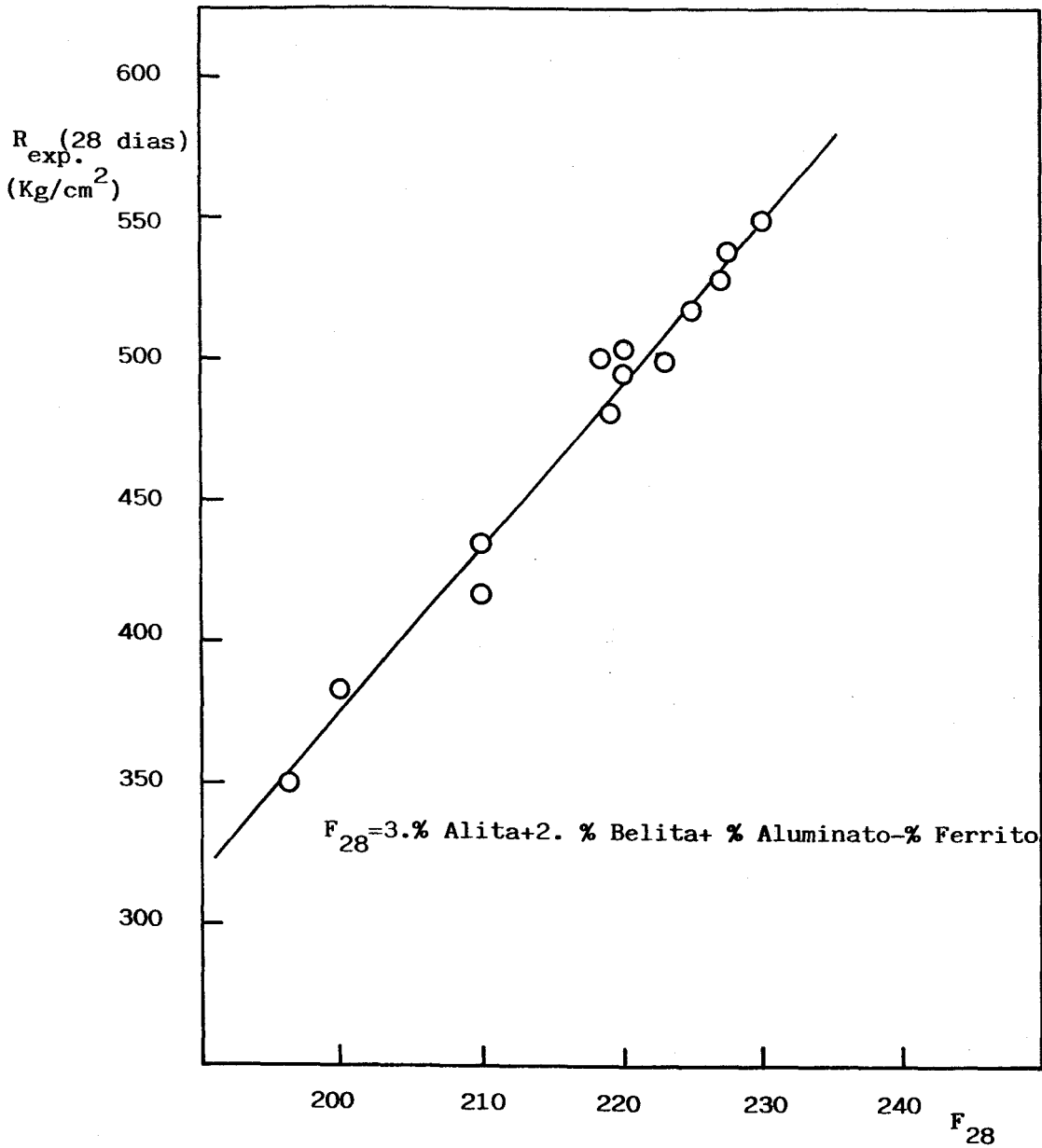


Fig. 17 Relación entre la resistencia a la compresión y la composición de fases en el mortero de cemento preparado con sustancias puras (52).

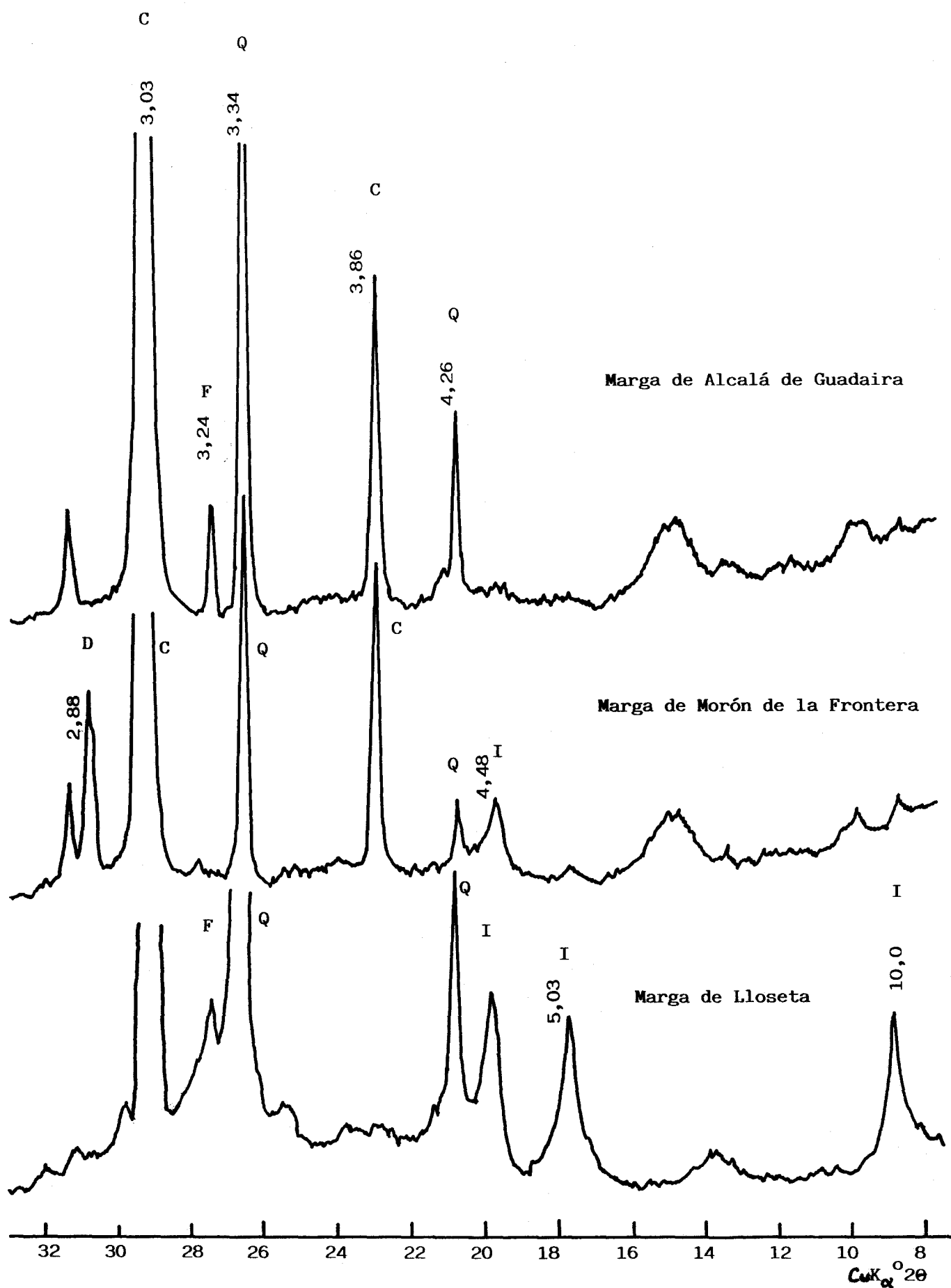


Fig. 17 bis .- Diagramas de difracción de rayos-X de las margas empleadas.



## 2.4 MICROSCOPIA

### 2.4.1 RECONOCIMIENTO DE FASES

En el año 1908 comenzó Stern (59) el estudio de secciones pulidas mediante luz reflejada. Recurriendo al ataque corrosivo pudo hacer reconocibles cada una de las fases del clinker. La luz transmitida (por transparencia) en lámina delgada y la luz reflejada (por reflexión) conjuntamente se emplearon en 1938 por Insley (60) y, en 1952 por Gille (61), que empleó azufre fundido como aglomerante. Se utilizó la técnica de la metalografía para el estudio de secciones pulidas y se descubrieron tres fases, que se denominaron:

Alita:  $C_3S$ , silicato tricálcico

Belita:  $C_2S$ , silicato bicálcico

Celita: clara o ferrito aluminato tetracálcico ( $Ca_2FeAlO_6$ ) y ferrito dicálcico ( $Ca_2Fe_2O_4$ )

oscura o aluminato tricálcico ( $Ca_3Al_2O_6$ ).

A la celita o fase intersticial se la denominó en principio fase vitrea porque era la única que fundía y aglomeraba los cristales, pensándose que era amorfa. También pueden observarse al microscopio otras fases secundarias como son la cal libre, la magnesia (periclasa), hierro metálico en clinker reducidos, etc.

#### Alita:

Se denomina alita a las modificaciones del silicato tricálcico,  $Ca_3SiO_6$ , estabilizadas por cationes ó aniones extraños y formación de cristales mixtos. No se pueden diferenciar por luz reflejada las diferentes modificaciones cristalinas.

La alita es el compuesto mayoritario en el clinker que puede contener del 40 al 75% de este componente. Las características ópticas son  $n_x=1.716$  a  $1.720$ ;  $n_z=1.722$  a  $1.724$ . La birrefringencia es  $n_z-n_x=0.005$ .

Con luz reflejada la alita refleja en gris; si no se ataca no se distingue de las otras fases. Se suele atacar con agua o con "Nitral" que es una solución alcohólica de ácido nítrico al 1%. Se observa en formas poliédricas, exagonales o rectangulares, laminares e idiomorfos, en ocasiones con maclas sencillas simétricas, llamadas gemelos y, generalmente, puede verse coloreada en verde o naranja.

La alita sólo es estable por encima de  $1200^{\circ}\text{C}$ . Si se enfria lentamente se descompone en cal libre y silicato bicálcico, pero si el enfriamiento es rápido se congela el equilibrio, quedando estabilizada a temperatura ambiente.

### Belita

Se denomina belita al silicato bicálcico,  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ , y contiene siempre cierta cantidad de iones extraños que hacen variar las propiedades físicas, color, índice de refracción y actividad hidráulica.

Los cristales de belita son casi siempre idiomorfos y redondeados. Hay una forma, la  $\alpha$ -belita, de superficie lisa que no presenta estrias superficiales por no haber sufrido transformaciones en el enfriamiento, y otra, la  $\beta$ -belita, que presenta un estriado en cruz, en forma de láminas o agujas que se entrecruzan. La belita tiene tendencia a la cristalización mixta, de manera que ciertas agujas en cruz crecieron a costa de otras, y se desarrollaron fuera de los límites primitivos del cristal redondeado original, que es lo que se denomina "belita lobular", o "belita dentrítica" indicando que el

clinker se enfrió lentamente. El  $\gamma$ - $C_2S$ , con estructura tipo olivino se forma en el proceso de enfriamiento lento del  $\alpha$ - $C_2S$  y, dado el mayor volumen del  $\gamma$ - $C_2S$ , este aparece pulverulento y difuso al microscopio.

#### 2.4.2 PREDICCIÓN DE LAS RESISTENCIAS MECANICAS

ONO publicó en 1980 (62) un método de predicción de las resistencias mecánicas del mortero basado en la observación microscópica.

El autor indica que el método no es válido para las primeras resistencias a 1 y 3 días dado que hay factores que influyen fuertemente como son la distribución granulométrica de las partículas, el contenido de álcalis y sulfatos en solución sólida en el  $C_3A$  y otros desconocidos que influyen de forma "aleatoria", sumándose a la actividad de los minerales del clinker en el cemento durante su fraguado.

La actividad de la alita y de la belita es diferente según la velocidad de enfriamiento del clinker, el contenido de impurezas y su cristalinidad, que se determina indirectamente mediante la observación microscópica. Para ello se toma una porción de tamaño uniforme y se observa, inmersa en aceite de alto índice de refracción, al microscopio óptico con luz transmitida, determinando cuatro parámetros relacionados con la actividad:

TA: tamaño de la alita en micras relacionado con la velocidad de calentamiento.

BA: birrefringencia de la alita relacionada con la temperatura máxima.

TB: tamaño de la belita relacionado con el tiempo de calcinación.

CB: color de la belita relacionado con la velocidad de enfriamiento.

### Tamaño de la alita

Cuando la velocidad de calentamiento es alta el tamaño de los cristales de alita es pequeño, siendo óptimo si es de 15-20 micras (factor 4), ya que dan lugar a valores de resistencias máximos mientras que si el tamaño es de 40 a 60 micras o mayor las resistencias son mínimas (factor 1) indicando que el calentamiento ha sido lento. Un tamaño menor de 15-20 micras indica que el sólido no está bien cocido, observándose cal libre, lo que no es deseable.

### Birrefringencia de la alita

La birrefringencia de la alita depende principalmente de la temperatura de cocción y de la velocidad de enfriamiento lo que repercute en su forma cristalina, por lo que puede decirse que la birrefringencia depende de la estructura cristalina de la alita, y a su vez, como indicó Gourdin en 1980 (53) las resistencias dependen de la estructura, así pues la birrefringencia es una medida indirecta de la estructura y de la resistencia que aporta la alita.

La forma romboédrica (Alita-R) tiene el valor máximo de birrefringencia, de 0.007 a 0.010, y es la que contribuye en mayor grado a la resistencia mecánica total del mortero mientras que la forma monoclinica M-III tiene una birrefringencia algo menor, de 0.005 a 0.007; la monoclinica I, menor aún, de 0.004 a 0.005 y la forma triclinica T, es la de mínima birrefringencia (menos de 0.004) y la de menor contribución a la resistencia mecánica del mortero.

### Tamaño de la belita

A temperatura baja, 1100-1200 °C, la belita cristaliza en cristales pequeños de la forma  $\alpha'$ , y el cristal crece por

sinterización. A temperatura próxima a los 1400 °C la forma  $\alpha'$  se transforma en la forma  $\alpha$ . Los cristales de la forma  $\alpha$  crecen rápidamente; así pues el tamaño de los cristales de belita se corresponde con el tiempo mantenido el clinker a 1400°C. Los cristales de belita crecen también por otras circunstancias. El feldespatos reacciona con el CaO y cristaliza en cristales gruesos de  $\alpha$ -belita ricos en álcalis y casi incoloros. En cambio si la belita es rica en hierro crece lentamente.

#### Color de la belita

Como se ha dicho anteriormente la forma cristalina de la belita a 1400 °C, es la forma  $\alpha$ . Esta forma puede disolver aproximadamente:

$\text{Al}_2\text{O}_3$  ... 2%

$\text{Fe}_2\text{O}_3$  ... 2%

$\text{Na}_2\text{O}$  ... 3%

mientras que la forma  $\alpha'$  de la belita tiene un poder disolvente prácticamente nulo, menor del 0.5%.

Los productos disueltos en la forma  $\alpha$  al enfriarse y pasar a la forma  $\alpha'$  están sobresaturados y se separan en forma coloidal en la belita, cambiando de color desde el incoloro al amarillo y al ámbar de acuerdo con la velocidad de enfriamiento. Si este ocurre rápidamente, casi el 40 % de la fase  $\alpha$  queda entre finas laminillas de forma  $\beta$  desordenadas sin que tenga lugar la oxidación de impurezas.

Si el clinker se enfría lentamente en la zona entre 1400 y 1300 °C tiene lugar la inversión  $\alpha$  a  $\alpha'$  en la superficie de la belita alargándose las laminillas de la forma  $\alpha'$  a través de la fase intersticial fundida, resultando la superficie de la belita rugosa. Las cavidades descomprimidas se llenan con la fase de hierro separada resultando por ello de color ámbar.

#### Valoración de los parámetros

En la tabla XI se muestran los valores de los tamaños y

TABLA XI

Factores de resistencia según el tamaño y birrefringencia de los cristales de alita y el tamaño y color de los de belita según Ono (62). Según el rango de tamaños y birrefringencia así como el color, los factores a emplear en el cálculo de las resistencias a la compresión (TA, BA, TB, CB) poseen los valores 4, 3, 2 ó 1.

Parámetros del cemento	Factores de resistencia a la compresión			
	4	3	2	1
Tamaño de la alita, $\mu$	15-20	20-30	30-40	40-60
Birrefringencia de la alita	0,010-0,007	0,007-0,006	0,006-0,005	0,005-0,002
Tamaño de la belita, $\mu$	60-25	25-20	20-10	10-5
Color de la belita	claro	amarillo claro	amarillo	ámbar

birrefringencia de los cristales de alita, así como el tamaño y color de la belita para un conjunto de cuatro muestras.

La resistencia en Kg/cm<sup>2</sup> viene dada por las expresiones siguientes:

$$R(7 \text{ días}) = 167 + 1.2 \text{ TA} + 18.8 \text{ BA} - 10.3 \text{ TB} + 9.5 \text{ CB} \quad (r=0.74, \\ ds=16.7)$$

$$R(28 \text{ días}) = 253 + 6.4 \text{ TA} + 21.9 \text{ BA} + 4.00 \text{ TB} + 21.5 \text{ CB} \quad (r=0.91, \\ ds=17.1)$$

donde TA, BA, TB y CB valen 1, 2, 3 ó 4, de acuerdo con la tabla XI.

Introduciendo en la regresión los parámetros correspondientes al módulo hidráulico (MH); cal libre (CL) y superficie específica Blaine (BL), las fórmulas de regresión de ONO (62) son:

$$R(7d) = 96 + 61 \text{ MH} - 18 \text{ CL} - 0.012 \text{ BL} + 2.9 \text{ TA} + 19.9 \text{ BA} - 13.1 \text{ TB} + 8.4 \text{ CB} \\ \text{siendo } r = 0.77 \text{ y } ds = 16.5$$

$$R(28d) = 67 + 109 \text{ MH} - 22 \text{ CL} - 0.005 \text{ BL} + 7.7 \text{ TA} + 22.3 \text{ BA} + 0.6 \text{ TB} + 20.7 \text{ CB} \\ \text{siendo } r = 0.93 \text{ y } ds = 16.1$$

El método de ONO para medir resistencia mecánica de un material y determinar así la calidad de un cemento mediante la observación microscópica presenta algunos inconvenientes:

1.- Se observa sólo una estrechísima fracción granulométrica, de 45 a 60 micras, presuponiéndose que las partículas grandes y pequeñas poseen idéntica composición química y cristalográfica, lo cual no suele ser cierto.

2.- El número de partículas observadas (pongamos unas 20

ó 40) es pequeño y probablemente no representa el comportamiento medio de las que integran cientos de toneladas cuyas propiedades quieren explicarse extrapolando a partir de las propiedades de tan reducido número de partículas.

Por otra parte es innegable que existe una relación entre la birrefringencia de estas formas cristalinas y su contribución a la resistencia mecánica a la compresión del mortero. Debe ser, no obstante, una relación indirecta ya que lo que contribuirá directamente debe ser la forma cristalina, el tamaño de los cristales el contenido de microtensiones, etc. Seguramente los cambios en la birrefringencia de la alita están directamente relacionados con el contenido de todo tipo de defectos, o microtensiones, en la red cristalina.

La técnica de DRX, empleada para evaluar el tamaño cristalino y contenido de microtensiones de la alita, permite, al contrario que el método ONO, estudiar cantidades de muestra mucho mayores siendo ésta una de las principales razones que impulsaron la presente tesis.



### 3. MATERIALES

Se han estudiado 55 muestras de clinker molido con el 4% de yeso, procedentes del Horno III de la fábrica de Alcalá de Guadaira (Sevilla) de "Cementos del Atlántico" y 29 de clinker molido con el 5,5% de yeso procedentes de LLoseta de "Portland de Mallorca". Estos son los clinker con menos (el de Alcalá de Guadaira) y con más aluminato tricálcico,  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$ , (el de LLoseta) del mercado nacional ya que el clinker normal de Alcalá de Guadaira posee un 0% de aluminato, mientras que el de LLoseta tiene el 13% de este compuesto aproximadamente.

Todas las muestras son muestras medias del clinker diario (se hicieron tomas cada hora); las 34 primeras corresponden a las obtenidas entre el 15 de enero y el 6 de marzo de 1986 y están fabricadas con una mezcla aproximada de:

- 34 % de marga de Alcalá de Guadaira (Sevilla)
- 14 % de caliza de Morón de la Frontera (Sevilla)
- 2 % de cenizas de piritas procedentes de la  
fábrica de sulfúrico Unión Española de  
Explosivos (Sevilla)

Las muestras 35 a la 39 ambas inclusive se obtuvieron del 18 al 23 de marzo y corresponden a una mezcla que posee aproximadamente un 50% de marga de Morón respecto al total de marga:

- 42 % de marga de Alcalá de Guadaira (Sevilla)
- 42 % de marga de Morón de la Frontera (Sevilla)
- 15 % de caliza de Morón de la Frontera (Sevilla)

Las muestras 40 a la 46 se obtuvieron del 6 al 12 de abril y corresponden a una mezcla aproximada del 25 % de marga

de Morón con respecto al total de la marga:

- 63 % de marga de Alcalá de Guadaira (Sevilla)
- 21 % de marga de Morón de la Frontera (Sevilla)
- 15 % de caliza de Morón de la Frontera (Sevilla)
- 1 % de ceniza de pirita de la fábrica de sulfúrico Unión Española de Explosivos (Sevilla)

Las muestras 47 a la 53 se obtuvieron del 18 al 25 de abril, a partir de una mezcla que contenía aproximadamente el 33% de marga de Morón con respecto al total de marga:

- 56 % de marga de Alcalá de Guadaira (Sevilla)
- 28 % de marga de Morón de la Frontera (Sevilla)
- 14 % de caliza de Morón de la Frontera (Sevilla)
- 2 % de ceniza de pirita de la fábrica de sulfúrico Unión Española de Explosivos (Sevilla)

Las muestras 54 y 55 corresponden a los días 26 y 27 de abril respectivamente poseyendo un 15 % de marga de Morón respecto de la total, siendo su dosificación aproximada:

- 70 % de marga de Alcalá de Guadaira (Sevilla)
- 14 % de marga de Morón de la Frontera (Sevilla)
- 15 % de caliza de Morón de la Frontera (Sevilla)
- 1 % de cenizas de pirita de la fábrica de sulfúrico Unión Española de Explosivos (Sevilla).

En la tabla XII se da la composición química media de las margas y caliza empleadas así como la de la ceniza del carbón aportada durante la combustión. En la figura 17-bis se muestran los diagramas de difracción de rayos-X de las margas.

TABLA XII

Composición química media de las margas, calizas y cenizas de pirita empleadas en la elaboración del clinker, así como de la ceniza del carbón utilizado en dicho proceso.

	Marga de Alcalá de Guadaira	Marga de Morón de la Fron- tera	Caliza de Morón de la Fron- tera	Ceniza de pirita	Cenizas del carbón**
PF*	35,24	34,05	43,85	10,00	0,00
SiO <sub>2</sub>	16,50	17,43	0,24	6,57	49,84
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,90	4,91	0,16	0,17	34,80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,10	2,10	0,12	81,00	1,38
CaO	44,15	38,17	54,97	0,98	11,59
MgO	0,60	0,96	0,59	0,20	0,99
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,17	0,01	0,20	0,10
K <sub>2</sub> O	0,12	1,73	0,04	0,10	0,39
Otros	0,35	0,48	0,02	0,98	0,91

\* Perdida por calcinación a 1000°C

\*\* El carbón empleado tiene una potencia calorífica de 6600 cal/gr; como el consumo específico de calor del horno es de 850 Kcal/Kg de clinker, y el porcentaje de cenizas del carbón es del 13%, hay que considerar una incorporación de cenizas fija del 1,07 % en la mezcla de materias primas.

#### 4. INSTRUMENTACION

##### Balanzas

Mettler modelo H35AR m $\acute{a}$ x. 100 gr. d=0.1 mg

Mettler modelo P163 m $\acute{a}$ x. 100 gr. d=1.0 mg

Mettler modelo P11N m $\acute{a}$ x. 10000 gr. d=0.1 gr

Balanza de sedimentaci3n Sartorius modelo  
SEDI, con registrador de carga de 1mg.

Horno mufla Gallenkamp de 1400°C

Microsc3pio de Polarizaci3n Nikow modelo POR-3-F, para luz transmitida y reflejada, con c $\acute{a}$ mara fotogr $\acute{a}$ fica autom $\acute{a}$ tica.

Dispositivos auxiliares para preparaci3n de muestras:

Prensa Metalopres Luxe Modelo 20-6030 de Metalograf.

Pulidora Micropal 200.

Equipo autom $\acute{a}$ tico de esmerilado y pulido para 6 muestras: Metalograf. Ref. 50-8910.

##### Molinos

Molino triturador de mandibulas de OREJAS Y MAILLO, SA modelo 882/A.

Molino de bolas marca Bauer de TAYMISA de 820 mm di $\acute{a}$ m. y 1650 mm de longitud de 3CV de potencia a 36 rpm.

Molino vibratorio Herzog modelo HTP-40 para la confecci3n de pastillas para el espectr3metro.

Espectr3metro secuencial de Siemens modelo SRS-200  
N.L. M34030-F7536-H

Difractómetro automático de Siemens, modelo D-500

N.L. 34036-C2111-B2

Ordenador Siemens modelo PR310K con doble Floppy disk y  
teleimpresora electrónica rápida modelo PT-80

### Hornos industriales

Los ensayos industriales con 100% de marga de Alcalá de Guadaira (Sevilla), que era la marga empleada desde el comienzo de la Empresa, así como los de las mezclas propuestas en esta investigación con el 85, 75, 67 y 50% de marga de Alcalá de Guadaira y el resto correspondiente del 15, 25, 33 y 50% de marga de Morón de la Frontera, se llevaron a cabo en el horno III de Alcalá de Guadaira (Sevilla).

Este horno III es el resultado de la transformación del antiguo horno II, realizada por CEMENTOS DEL MAR S.A. mediante su equipo de ingeniería, en fecha muy reciente. Esta transformación consistió en el emplazamiento del nuevo horno, aprovechando parte del anterior, paralelamente a los I y II, realizando primero la obra civil con los dos hornos I y II en marcha, para que una vez terminada esta, en un tiempo muy corto de parada de producción de clinker, efectuar el montaje. La transformación tuvo por resultado que el horno III tuviese una producción de 3000 Tm/día, mayor que la de los dos hornos I y II juntos, y reducción del consumo específico de calor de unas 250 Kcal/Kg de clinker pasando de 1100 a 850 Kcal/Kg.

La línea de producción de clinker consta de una instalación preparadora de materias primas con una capacidad de 700 Tm/hora, con bloques máximos de 2000 Kg para su trituración con separador de finos y trituradora de 300 Tm/h con boca de 1960 x 1400 mm con motor de 500 CV. Consta de secador de flash, molienda de crudo y homogenización y de dos molinos de una

producción total de 210 Tm/h, de una torre intercambiadora de calor con una altura total de 87 m, con circuito doble, de cuatro etapas en contracorriente, donde los gases de salida del horno se ponen en contacto con la harina cruda que entra por arriba. Antes de la entrada al horno hay una cámara de precalcificación de 5750 mm de diámetro y 12.5 m de altura. El caudal de gases después del precalentador es de 7600 m<sup>3</sup>/min a 370°C con un contenido de polvo de 45 gr/m<sup>3</sup>, que se depuran en dos electrofiltros en serie hasta 0,015 gr/m<sup>3</sup>.

El horno consiste en un tubo inclinado de 5 m de diámetro y 50 m de largo con nueve satélites enfriadores de 2,4 m de diámetro y 24 m de largo con una pendiente de todo el conjunto de 6,5%, que al girar produce el avance del material a lo largo del horno y enfriadores.

Dispone de una instalación de molienda, ensilado e inyección de carbón. El carbón empleado es hulla de procedencia norteamericana o sudafricana con una potencia calorífica de unas 6600 Kcal/Kg y 11% de cenizas.

El material calcinado que sale del horno, el clinker, se almacena en una nave con dos puentes grúa, desde donde se alimenta a los molinos de cemento.

## 5. METODOS TEORICOS Y EXPERIMENTALES

### 5.1 SUPERFICIE ESPECIFICA

La finura del cemento se suele expresar por la superficie específica, medida con el permeabilímetro Blaine. Este es un método rápido y sencillo. También se expresa por el residuo en uno o mejor varios tamices de la serie ASTM y, últimamente, por la distribución granulométrica de tamaños.

Se han comparado, en una serie de 10 muestras, los valores de la superficie específica Blaine y los correspondientes a la técnica BET (63) encontrando una falta de concordancia, de acuerdo con lo que cabía esperar ya que la superficie específica del cemento está en el límite inferior de detección del método BET.

En la determinación de la superficie específica mediante el permeabilímetro Blaine, se mide el tiempo que tarda en pasar un volumen determinado de aire a través de una pastilla de cemento de porosidad conocida, aplicando la siguiente fórmula:

$$s = \frac{s_p \cdot n_p \cdot T}{T_s \cdot n} \quad (1)$$

siendo  $s$  la superficie específica de la muestra de ensayo en  $\text{cm}^2/\text{gr}$ ,  $s_p$  la superficie específica de la muestra patrón en  $\text{cm}^2/\text{gr}$ ,  $T$  el tiempo invertido en pasar un volumen de aire fijo a través de la muestra de ensayo,  $T_s$  el correspondiente a la muestra patrón,  $n$  la viscosidad del aire en poises a la temperatura de ensayo para la muestra de ensayo



y  $n_v$  la viscosidad del aire en poises a la temperatura de ensayo con la muestra patrón.

## 5.2 ANALISIS QUIMICO

El análisis químico de las muestras se llevó a cabo de la siguiente forma:

Un gramo de muestra se disgrega mediante fusión alcalina con  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ - $\text{K}_2\text{CO}_3$  en crisol de Pt. A continuación se extrae con HCl diluido y evapora a sequedad. Se repite con HCl concentrado y se calcina y pesa.

Una fracción del filtrado se trata en caliente con  $\text{NH}_3$ (aq) y precipitan los hidróxidos de aluminio y de hierro. Se calcina y pesa la suma de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

En otra fracción se determina el hierro por valoración con  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ .

El filtrado de los hidróxidos se lleva a 500 cc y se toman 50 cc valorándose el calcio por complexometría (EDTA 0,05 M) empleando calconcarboxílico como indicador con NaOH en exceso (pH=14) hasta azul intenso.

El magnesio y calcio se determinan conjuntamente con EDTA 0,05 M en medio  $\text{NH}_3$ (aq), con negro de eriocromo T como indicador hasta azul intenso.

El potasio se determina mediante fotometría de llama.

Por último la sílice se determina descontando el residuo del ataque con HF conc. + 1 gota de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  de la pesada de la insolubilización de la sílice. Si persiste un residuo se disuelve e incorpora a los hidróxidos.

## 5.3 FLUORESCENCIA DE RAYOS-X

Los datos de análisis químico así obtenidos

correspondientes a las materias primas y a los cementos han sido contrastados con los obtenidos por fluorescencia de rayos-X. El procedimiento a seguir ha sido desarrollado por nosotros desde 1980 y se han analizado desde entonces varios miles de muestras, manteniendo con el C.C.R.L. (USA), con una periodicidad de seis meses, un contraste de dos muestras para análisis químico, en el que nos informan de la bondad de nuestros datos en relación al conjunto de los obtenidos para nuestras muestras por otras muchas fábricas.

#### Confección de la probeta

El hecho de que la intensidad de radiación de fluorescencia de un determinado elemento dependa no sólo de su concentración sino de factores como la matriz en que se encuentra, su estado de división, el aspecto superficial de la muestra, etc hace necesario el destruir la matriz fundiéndola con tetraborato de litio (64). Los cementos, clinkerres, crudos, margas y calizas se funden, después de calcinar (y determinar así la pérdida por calcinación), en la proporción de 2 gramos de muestra por 6 gramos de tetraborato de litio a 1000 °C, rotando el crisol para homogeneizar la muestra, una vez fundido, de 30 a 60 minutos. En el caso de las arcillas, silices y refractarios la proporción es de 1 gramo de muestra y 7 de tetraborato necesitándose para su total disolución de 1 a 8 horas. Una vez bien fundido se vierte el crisol sobre un molde situado dentro del horno (tanto el crisol como el molde son de aleación de Pt-Au 95/5). Se saca el molde con la muestra fundida y se coloca en una caja de amianto y se tapa para su enfriamiento lento. La perla, una vez fría, está ya en buenas condiciones para las medidas. No obstante, ha sido comprobado por nosotros, que hay menos dispersión y menos errores si la perla, una vez fría, sin preocuparse de su aspecto exterior, se muele en un molino vibrador durante 2 minutos con un 10% de cera "Hoechst" en polvo y se prensa a 30 Tm durante 20

segundos. La pastilla queda así en condiciones óptimas para la adquisición de datos con el programa correspondiente.

#### Programas de análisis

##### a) Selección de los parámetros de análisis

Los parámetros de análisis están constituidos por los siguientes datos:

- Cristal analizador
- Detector y colimador
- Diafragma
- Tiempo de medida
- Atmósfera de medida: vacío, aire o helio
- Posición en el portamuestras
- Voltaje del generador
- Amperaje del generador
- Discriminador
- Angulo inicial
- Angulo del pico
- Angulo final
- Caudal de gas y tipo del mismo
- Temperatura de medida
- Presión de aire

Hay que seleccionar las condiciones de medida, en especial el cristal y ángulos, de manera que no haya interferencias y sean máximas la nitidez e intensidad del pico de cada elemento a medir para su determinado voltaje.

##### Preparación de los programas de análisis

Con los patrones apropiados de las sustancias a analizar (patrones "NBS" de cemento y silicatos naturales, y metales) se confeccionan una serie de pastillas de diversa composición química. La composición de cada sustancia que se analiza debe de caer dentro de los límites de composición de la serie de patrones empleada, siendo tanto mejor cuanto más estrechos sean

dichos límites de composición.

Con las parejas de valores intensidad/concentración de cada elemento se trazan las curvas de análisis, con o sin interferencias, asignándole un número de programa de análisis que servirá como etiqueta para el posterior análisis de las sustancias problema de concentraciones incluidas dentro de los límites de los patrones, como se ha indicado anteriormente.

No puede hacerse un programa universal, o de concentraciones con un margen muy amplio si se quieren obtener valores de gran precisión en el resultado de los análisis, debiendo abarcar concentraciones relativamente próximas a las sustancias a analizar.

#### Contraste y tarado

Una vez terminado el programa de análisis para una determinada sustancia, se contrasta la curva de análisis de cada elemento con las pastillas de mínima y máxima concentración, y a continuación vuelve a repetirse lo mismo con el programa de tarado. Estos cuatro valores forman parte del programa de análisis para el desplazamiento automático de la curva si se modifica cualquier condición o parámetro de medida (temperatura, ventana de radiación, botella de gas, etc) o si se observa que hay un desplazamiento sistemático de algún resultado de análisis, efectuando entonces solamente un nuevo tarado de referencia de este elemento.

#### Expresión de los resultados

Al expresar los resultados por el programa seleccionado aparece también la suma de las concentraciones de los elementos. Si esta suma no llega a 100 puede ser porque faltan elementos por determinar, por defecto superficial de la pastilla o mala colocación de ésta, por alteración o pérdida de muestra durante la fusión, o porque se sale algún elemento de los límites de concentración del programa. En el caso de sumar más de 100 puede haber tenido lugar alguna transformación

durante la fusión, como es el caso del paso de un compuesto ferroso a férrico, o de sulfito a sulfato, o haber algún elemento fuera de los límites de concentración. En este supuesto, al igual que en el de falta de concentración debe de elegirse otro programa de análisis donde dicho elemento esté dentro de los límites, tomando este valor en el análisis anterior si el programa está sin interferencias. De no ser así no vale el programa para extrapolar y habría que comprobar los resultados por vía química. En el caso de haber irregularidades en la tensión eléctrica se producen resultados anómalos. Esto último es fácil de comprobar, repitiendo la medición.

#### Contraste CCRL

El laboratorio central participa como Laboratorio de referencia en el análisis semestral de dos muestras de cemento del National Bureau of Standards para contraste estadístico de los resultados y ajuste del equipo.

### 5.4 DIFRACCION DE RAYOS-X

Se ha empleado un aparato de difracción de rayos-X SIEMENS modelo D-500 con radiación Cu K $\alpha$  y monocromador de grafito tabajándose bajo unas condiciones de 50 KV, 20 mA y una velocidad de goniómetro de 1°/min para registrar diagramas de difracción de rayos-X completos y de 4 segundos por paso a intervalos de 0,01 ° para registrar picos concretos a fin de estudiar el ensanchamiento de los mismos.

#### Determinación del tamaño cristalino y microtensiones.

El tamaño cristalino y contenido de microtensiones de un especimen es de considerable importancia en su

comportamiento fisico-químico. Cuanto menor sea el tamaño cristalino y/o mayor sea el contenido de microtensiones de un material mayor es la energía asociada al sólido por estos conceptos, y ésta puede decidir el curso de una reacción o, como es frecuente, el orden de estabilidad de varias fases posibles en el sólido (65). Tanto el contenido de microtensiones como el tamaño cristalino medios juegan un extraordinario papel en la reactividad del material en cuestión. En los que respecta a la reactividad del clinker, numerosos autores (66-74) empleando calorimetría de conducción han obtenido una valiosísima información cuantitativa acerca de la reacción de hidratación del  $C_3S$  y otros muchos (74, 75-82) mediante microscopía electrónica de barrido, de transmisión directa y por difracción de rayos-X han obtenido asimismo información cualitativa sobre la morfología del desarrollo de los hidratos en muestras húmedas de cementos. Estas técnicas han mostrado que el  $C_3S$  se hidrata a través de una serie de etapas sucesivas. Tan pronto como el sólido se mezcla con agua ocurre una reacción inmediata que provoca un pico calorimétrico exotérmico agudo. Esto va seguido por un periodo de baja reactividad conocido como etapa de inducción durante la cual la hidratación del  $C_3S$  procede muy lentamente en una solución rica en iones  $Ca^{++}$  y  $OH^-$  hasta que se alcanza una sobresaturación suficiente para dar lugar a núcleos estables de portlandita,  $Ca(OH)_2$ . (La sobresaturación es necesaria para contrarrestar los efectos venenosos de especies solubles de silicatos. Algún autor (83) ha encontrado cristales de portlandita antes de alcanzarse la sobresaturación, pero probablemente sea debido a una cristalización del hidróxido cerca de las fronteras de grano, donde existe una alta concentración de  $Ca^{++}$  ; de hecho, al agitar se disuelven los cristales de portlandita). La duración

del período de inducción depende de muchos parámetros como la razón agua/sólido, finura, temperatura, otras especies presentes y defectos reticulares.

Tanto al tamaño cristalino como al contenido de microtensiones o defectos reticulares se les puede alterar térmica o mecánicamente a fin de conseguir los valores más idóneos de ambos parámetros, de acuerdo con la finalidad que vaya a dársele al material. La evaluación de dichos parámetros se ha llevado a cabo a partir del ensanchamiento de los picos de difracción de rayos-X, por lo que a continuación se describen los fundamentos teóricos inherentes a dicho procedimiento.

#### Origen del ensanchamiento de los picos de difracción de rayos-X

Para un cristal perfecto y una radiación incidente de rayos-X perfectamente paralelos y de igual longitud de onda se cumple la ecuación de Bragg

$$n\lambda = 2d \operatorname{sen} \theta \quad (2)$$

siendo cero la intensidad de rayos-X difractados fuera de una variación de  $\theta$  del orden de segundos de arco. Bajo condiciones no ideales ocurre, sin embargo, difracción en un más amplio rango de valores de  $\theta$ .

El ensanchamiento de los picos de DRX se debe tanto a factores instrumentales como a imperfecciones del cristal. Estas últimas, en especial los pequeños tamaños cristalinos, que pueden considerarse imperfecciones en términos de la ecuación de Bragg, así como las distorsiones reticulares y defectos estructurales impiden la completa cancelación del

rayo difractado para ángulos distintos a los de Bragg. Serían responsables del ensanchamiento de los picos, por ejemplo, las estructuras "idealmente imperfectas" propuestas por Darwin (84,85) denominadas más tarde de tipo "mosaico" por Ewall (86) y explicadas de acuerdo con la teoría de las dislocaciones, o aquellas con defectos de empaquetamiento en las que los grupos de capas paralelas no poseen otro orden interlaminar que el paralelismo y grado de separación entre las capas. Las tensiones homogéneas producen sólo una leve alteración del tamaño de la red cristalina y el consiguiente desplazamiento del pico, pero no su ensanchamiento. Es más frecuente, sin embargo, que en materiales trabajados en frío o sometidos a trituración mecánica se produzca una alteración del tamaño de la red de diferente forma en diferentes cristales y para un mismo cristal, diferente en diferentes direcciones, dando lugar a un ensanchamiento de los picos de difracción de rayos X.

#### Relación del ensanchamiento con el tamaño cristalino.

El tamaño cristalino puede definirse bien como el espesor efectivo del cristal en una dirección perpendicular al plano de reflexión ( $D_{hkl}$ ), como suele hacerse cuando se determina por los métodos de Fourier y/o anchura integral, o bien como la raíz cúbica del volumen del cristal ( $D_{v1/3}$ ), como suele hacerse cuando se emplea el método de la varianza. Deben por tanto evitarse comparaciones rigurosas entre tamaños cristalinos obtenidos por métodos que hayan empleado definiciones diferentes para tal magnitud. Normalmente los tamaños cristalinos obtenidos serán diferentes dependiendo del método de obtención empleado. Es opinión generalizada (87,88) que son más importantes las secuencias de valores obtenidas para una serie análoga de muestras, es decir, los valores



relativos, que los absolutos de los tamaños cristalinos. Además, un polvo cristalino está compuesto por cristales de diferente tamaño y forma, y consecuentemente, el tamaño medio observado, tal como se determina a partir de los picos de difracción de rayos X, puede diferir del tamaño verdadero. Sin embargo, según Jones (89) la diferencia no será nunca mayor del 30%.

Cuanto más pequeño es el tamaño cristalino tanto mayor es el ensanchamiento que produce sobre el pico de DRX y tanto mayor es la desviación de este de la ecuación de Bragg. Henry, Lipson y Wooster (90) extendieron la ecuación de Bragg considerando el incompleto reforzamiento de las ondas dispersadas por los sucesivos planos reticulares y a partir del método de Stokes (91), puede determinarse la magnitud de dicho ensanchamiento. Si consideramos un haz de rayos-X cayendo sobre un conjunto de  $2m$  planos reticulares bajo un ángulo  $\theta + \delta\theta$ , la diferencia de camino recorrido por las ondas difundidas a ese mismo ángulo por sucesivos planos es  $2d \sin(\theta + \delta\theta)$ . La condición para el refuerzo total de las ondas es  $+1/2 = d \sin \theta$ , pero si  $\delta\theta$  es tal que el plano  $m+1$  difunde con una diferencia de fase de  $180^\circ$  respecto al primer plano se tiene:

$$2md \cdot \sin(\theta + \delta\theta) = (m + 1/2)\lambda \quad (3)$$

en vez de la relación de Bragg

$$2md \cdot \sin \theta = m\lambda \quad (4)$$

Si la ecuación (3) se cumple para el primer plano y el plano  $m+1$ , se cumplirá para cada dos planos cualesquiera separados igual distancia hasta llegar a los planos  $m$  y  $2m$ . Por tanto el cristal puede suponerse dividido en dos partes

,cuyas respectivas difusiones del haz de rayos-X se encuentran desfasadas  $180^\circ$  y se cancelan exactamente. Sustrayendo (4) de (3) resulta:

$$2md.\text{sen}(\theta+\delta\theta)-\text{sen}\theta)=\lambda/2 \quad (5)$$

Al ser  $\delta\theta$  muy pequeño  $\text{sen}(\delta\theta/2)=\delta\theta/2$

Desarrollando (5) se tiene:

$$2md.\text{sen}\theta.\cos\delta\theta+\text{sen}\delta\theta.\cos\theta-\text{sen}\theta=\lambda/2 \quad (6)$$

$$2md\delta\theta\cos\theta=\lambda/2 \quad (7)$$

de donde

$$\delta\theta = \frac{\lambda}{2 \cdot 2md \cos \theta} = \frac{\lambda}{2 t \cos \theta} \quad (8)$$

siendo  $t$  el tamaño del cristal. También

$$\delta\theta = \frac{\lambda}{2 t \cos \theta} \quad (9)$$

La separación total entre los valores de  $\theta$  para los que la intensidad de difracción es cero viene dada por:

$$\delta\theta = \frac{\lambda}{t \cos \theta} \quad (10)$$

Ignorando las otras contribuciones al ensanchamiento del perfil, la anchura a la altura media del pico o la

anchura integral proveerá un orden de magnitud del tamaño cristalino. Mayores refinamientos (92) dan lugar a una medida más exacta mediante la introducción en la anterior ecuación de una constante adimensional,  $K$ , denominada constante de Scherrer, cuyo valor, próximo a 1 (puede adoptar valores comprendidos entre 0.7 y 1.7), depende de la forma de las cristales, plano considerado, definición de ensanchamiento, definición de tamaño cristalino y distribución de los tamaños cristalinos. La ecuación de Scherrer queda, por tanto, en su forma más general expresada de la siguiente manera:

$$\beta = \frac{K \lambda}{t \cos \theta} \quad (11)$$

donde  $\beta$  es el ensanchamiento debido al pequeño tamaño cristalino.

Por otra parte se demuestra que el ensanchamiento es independiente de  $\theta$ . En términos de la red recíproca, considerando la condición de reflexión perfectamente precisada y extendidos los puntos recíprocos, se tiene, de acuerdo con la ecuación anterior que, para un cristalito esférico de diámetro  $t$ , cada punto recíproco será una pequeña esfera de diámetro

$$\delta\theta = \lambda/t \cos \theta \quad (12)$$

Las distancias desde el origen en espacio recíproco, de acuerdo con la ecuación de Bragg, son iguales a

$$\lambda/d = 2 \sin \theta \quad (13)$$

y el diámetro de un punto recíproco  $\delta(2 \sin \theta)$  es

igual a  $2 \cos \theta \delta \theta$ . Sustituyendo  $\delta \theta$  por su valor el diámetro es

$$(\lambda/t \cos \theta) 2 \cos \theta = 2\lambda/t \quad (14)$$

Ya que es independiente de  $\theta$  todos los puntos recíprocos serán ensanchados en la misma extensión.

#### Relación del ensanchamiento con las microtensiones

La variación en los espaciados interplanares producida por distorsiones mecánicas, térmicas, etc en la red conduce a tensiones en la misma que, si no son uniformes, dan lugar al ensanchamiento de los picos. Este puede ser determinado por derivación de la ecuación de Bragg. Otra forma de escribir esta ecuación es:

$$d = \lambda/2 \operatorname{cosec} \theta \quad (15)$$

Diferenciando respecto a  $\theta$  se tiene:

$$\delta d/\delta \theta = -\lambda/2 \cot \theta \operatorname{cosec} \theta = -d \cot \theta \quad (16)$$

ó

$$- \delta d/d = \delta \theta \cot \theta \quad (17)$$

Para una línea determinada  $\cot \theta$  puede considerarse constante. Las microtensiones pueden expresarse de acuerdo con la fórmula:

$$n = B \cot \theta \quad (18)$$

siendo independientes de  $\lambda$  pero función de  $(hkl)$ .

Desafortunadamente, dependiendo del método utilizado para la determinación de las microtensiones se emplean diferentes definiciones para las mismas. Así, el método de

Fourier da  $\langle m^2 \rangle^{1/2}$  en una dirección perpendicular a la reflexión considerada promediadas sobre la distancia  $L$ , mientras que el método de la anchura integral da un límite superior aproximado  $x$  tal que  $x=1.25\langle m_L^2 \rangle^{1/2}$  y la varianza da  $\langle x^2 \rangle^{1/2}$ . Al igual que ocurre con los tamaños cristalinos, los valores deben considerarse sólo en términos relativos.

#### Ensanchamiento instrumental. Principales contribuidores

Incluso en el caso de muestras cuyos cristales sean perfectos, muy grandes y libres de microtensiones, los picos de difracción de rayos-X muestran una anchura apreciable, denominada anchura instrumental. Son varios los factores instrumentales que contribuyen a dicho ensanchamiento, relacionándose a continuación los más importantes:

(1) El uso de especímenes llanos en vez de curvos ensancha el foco de los rayos difractados en la rendija de recepción. El efecto es importante a bajo ángulo y cuando la divergencia del rayo horizontal es ancha.

(2) Si el coeficiente de absorción de la muestra es pequeño y el ángulo de Bragg es alto, la penetración del rayo en el espécimen origina asimismo ensanchamiento de la línea de difracción. Este efecto puede disminuirse si el espécimen se prepara extendiendo una delgada capa de polvo sobre una superficie llana, pero ello viene acompañado de una disminución de intensidad.

(3) En difractómetros modernos con colimadores de rendijas Soller los efectos de la divergencia vertical de los rayos primarios pueden originar un ensanchamiento significativo de los picos, en especial a bajos ángulos de Bragg.

(4) En los modernos instrumentos, la ventana focal se ve lateralmente, en oposición a longitudinalmente como ocurría

en los más antiguos y lo que antes suponía la contribución más importante al ensanchamiento es hoy de menor importancia. Los tubos de Cu o Fe dan lugar a una distribución de intensidad de tipo gaussiano.

(5) La anchura de la rendija de recepción también contribuye al ensanchamiento. Este hecho ha sido minimizado en los nuevos instrumentos, que emplean rendijas estrechas.

(6) Ninguna fuente de rayos-X es perfectamente monocromática, sino que está normalmente compuesta por una fuerte componente K superpuesta al espectro continuo; la misma línea K posee una determinada anchura del orden de 0.001 Å que da lugar a la denominada anchura natural del espectro. El ensanchamiento es proporcional a  $\tan \theta$ , siendo importante a ángulos altos.

(7) Una función empírica que tenga en cuenta la contribución, al azar, de todas las pequeñas imperfecciones en el alineamiento de los componentes del difractómetro es también necesaria para ajustar los perfiles teórico y experimental.

#### Determinación del perfil neto y de la anchura intrínseca de una línea de difracción de rayos X.

Para la obtención del perfil neto es necesario sustraer del perfil experimental el correspondiente a la anchura instrumental. Es decir, eliminar en primer lugar el efecto del doblete  $K\alpha_1\alpha_2$  y a continuación el resto de las contribuciones al perfil instrumental.

En la práctica, la determinación del perfil neto se lleva a cabo bien mediante métodos "exactos" que no presuponen la forma de la curva (Transformadas de Fourier, Convolución iterativa), o bien mediante métodos aproximados, que presuponen una determinada forma para las curvas que definen los picos (Gaussianas, de Cauchy o intermedias). En realidad

estos últimos métodos obtienen directamente la anchura a la altura media del perfil neto. Un procedimiento gráfico desarrollado por Jones (89) usando curvas de  $b/b_0$  en función de  $d/b_0$ , donde  $b_0$  y  $b$  son las anchuras integrales sin corregir y corregidas y  $d$  la separación angular de las componentes  $K\alpha_1$  y  $K\alpha_2$ , proporciona un valor para la anchura integral corregida  $b$ . Las curvas de Jones han sido construidas componiendo dos perfiles de la misma anchura  $b$  y de la misma forma, que difieren en un factor de 2 en altura ( $IK\alpha_1 = 2IK\alpha_2$ ) y separados por un incremento angular  $d$ . La anchura integral final se obtiene dividiendo el área por la altura resultantes. Rachinger (93) ha provisto un método alternativo para separar la contribución de  $K\alpha_2$ . Se basa en el hecho experimental de que

$$IK\alpha_2(2\theta) = IK\alpha(2\theta) - 1/2 IK\alpha_1(2\theta - \delta 2\theta) \quad (19)$$

donde  $IK\alpha_1(2\theta)$  es la intensidad del componente  $K\alpha_1$  al ángulo  $2\theta$ ,  $IK\alpha(2\theta)$  es la intensidad observada  $K\alpha$  al ángulo  $2\theta$  y  $\delta 2\theta$  es el intervalo angular entre las componentes  $K\alpha_1$  y  $K\alpha_2$ . Los errores cometidos debidos a la asimetría de los perfiles son, como ha mostrado Keating (94) pequeños.

El ensanchamiento instrumental puede separarse del ensanchamiento intrínseco de dos formas (95). En primer lugar, el efecto de todos los factores que individualmente originan el ensanchamiento instrumental puede analizarse mediante el teorema de superposición (96) y el perfil efectivo sintetizado matemáticamente. En segundo lugar puede elegirse una muestra estructuralmente perfecta para obtener un perfil al que una vez haya sido corregido del ensanchamiento producido por la componente  $K\alpha_2$ , se denomina con frecuencia "perfil instrumental". Dicho perfil instrumental es a menudo

independiente de  $\theta$ , pero también suele ensancharse ligeramente al aumentar  $\theta$ . Obviamente dicho perfil podría tomarse como el instrumental si la radiación fuese monocromática, por lo que sería, quizá, mejor denominarlo "perfil instrumental corregido de la componente  $K\alpha_2$ ".

Warren y Biscoe (97) han sugerido la expresión

$$\beta^2 = B^2 - b^2 \quad (20)$$

para obtener la anchura integral neta a partir de la experimental corregida de la componente  $K\alpha_2$ ,  $B$  y de la instrumental corregida de la componente  $K\alpha_2$ ,  $b$ , cuando ambos perfiles el neto y el instrumental son gaussianos, es decir de la forma  $y = \exp(-x^2 k^2)$ .

Si ambos perfiles son de Cauchy, es decir de la forma  $y = 1/(1+x^2 k^2)$  se tiene la expresión:

$$\beta = B - b \quad (21)$$

Si los picos son intermedios entre los de Gauss y de Cauchy, por ejemplo de la forma  $y = 1/(1+x^2 k^2)^2$  se ha sugerido (98) la ecuación:

$$\beta = B - b^2/B \quad (22)$$

Estas correcciones han utilizado anchuras integrales, definidas por Von Laue (99) como las intensidades integradas divididas por la máxima. La anchura integral suele obtenerse a partir de la anchura a la altura media por las relaciones de Ferguson (100).

Dependiendo de la forma de los perfiles se tiene:



Cauchy	$B=1.570 B_{1/2}$	(23)
Gaussiana	$B=1.065 B_{1/2}$	(24)
Intermedia	$B=1.225 B_{1/2}$	(25)

donde  $B$  y  $B_{1/2}$  son las anchuras integral y a la altura media respectivamente.

Stokes (91) desarrolló un procedimiento que no requiere suposición previa de la forma de los perfiles. Primero se determinan las transformadas de Fourier de los perfiles ensanchado e instrumental (101). Se determina entonces la razón de las ordenadas de las dos transformadas y la transformada de la curva resultante representa el ensanchamiento neto del pico (89,102).

Aunque el procedimiento de Stokes elimina el ensanchamiento debido al doblete  $K \alpha_1 \alpha_2$  y demás efectos instrumentales, Warren (103) ha subrayado la ventaja de una corrección previa del efecto del doblete  $K \alpha_1 \alpha_2$  por el método de Rachinger (93). Es también usual, a fin de evitar las oscilaciones en las colas de los datos de salida, tomar los datos de intensidades de entrada hasta el punto de intensidad máxima y luego considerar que el resto de las intensidades al otro lado del pico son simétricas respecto a las primeras (104).

Menos empleado, el método de Convolución Iterativa desarrollado por Ergun (105) aventaja según Klug y Alexander (102) al de Stokes de transformadas de Fourier. Sin embargo, cualquiera de los métodos hasta ahora mencionados son igualmente válidos desde el punto de vista de la implicación estadística a que se someten tanto los tamaños cristalinos como los contenidos de microtensiones en la presente Memoria.

Separación de la contribución a la anchura de los picos de DRX del pequeño tamaño cristalino y de las microtensiones.

La determinación simultánea y neta de los tamaños cristalinos y contenido de microtensiones se llevó a cabo mediante los procedimientos de Hall (106) y el de la Varianza (102).

De acuerdo con Hall (106) los efectos del pequeño tamaño cristalino y contenido de microtensiones son aditivos. En tal supuesto y considerando que tanto el perfil instrumental como el neto correspondiente a la muestra en cuestión son perfiles de Cauchy se tiene la ecuación:

$$B \cos \theta = \frac{K \lambda}{D} + \eta \operatorname{sen} \theta \quad (26)$$

y si se suponen perfiles de Gauss la ecuación:

$$\theta^2 \cos^2 \theta = \left( \frac{K \lambda}{D} \right)^2 + \eta^2 \operatorname{sen}^2 \theta \quad (27)$$

siendo  $B$  la anchura integral,  $\lambda$  la longitud de onda media de la radiación,  $K$  la constante de Scherrer que tiene valores próximos a la unidad y es dependiente del plano considerado,  $\eta$  el contenido de microtensiones,  $\gamma$ ,  $D$  el tamaño cristalino "neto".

Si se dispone de varios picos correspondientes a planos de orden múltiple, y además la anchura instrumental es independiente

de  $2\theta$ , se pueden obtener el tamaño cristalino neto,  $D$ , y el contenido de microtensiones  $\eta$  representando la parte izquierda de las anteriores ecuaciones en función de  $\sin \theta$  ó  $\sin^2\theta$  respectivamente. De la ordenada en el origen se obtiene  $D$  y de la pendiente de dichas representaciones el contenido de microtensiones  $\eta$ .

Normalmente es grande la dispersión correspondiente a los puntos de tales representaciones. Cuando esto ocurre o bien no se dispone de varios picos correspondientes a planos de orden múltiple se emplea el procedimiento de la Varianza. El tamaño cristalino  $D$  y el contenido de microtensiones  $\eta$  pueden calcularse a partir de la pendiente y ordenada en el origen dadas por (102):

$$W_{2\theta} = \frac{K \lambda \delta(2\theta)}{2\pi^2 D \cos \theta} - \frac{L \lambda^2}{4\pi^2 D^2 \cos \theta} + 4 \tan^2 \theta \langle x^2 \rangle \quad (28)$$

donde  $K$  es el factor de forma de la varianza y  $L$  el parámetro de velocidad (107,108)

#### 5.4 INDICES DE COMPOSICION

Modulo de silicatos (MS): Se denomina módulo de silicatos a la relación  $\text{SiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3)$ , en %. Su valor suele estar comprendido entre 2 y 3.5. Cuanto menor es este número mayor es la cantidad de fase líquida y al revés; por lo tanto valores altos del módulo de silicatos suponen poca fase

liquida a 1450 °C y el crudo resulta difícil de cocer, necesitando temperaturas mayores, tiempo de cocción más largo y mayor consumo específico de calor para su clinkerización.

Asimismo se forma menos costra en el horno y el consumo específico de refractario es alto; por el contrario cuando el módulo de silicatos es próximo a 2, el contenido de fase líquida a 1450°C es muy alto, el material muy fácil de cocer pero suele tener mucha tendencia a la formación de anillos, especialmente si los álcalis son altos en el clinker. Los anillos son un crecimiento excesivo de material adherido sobre el refractario. Los puntos donde suele adherirse el material interrumpiendo el paso normal del crudo son en los ciclones del intercambiador, en la zona de entrada del horno, al final de la llama y en la salida del horno. Si el crecimiento es excesivo produce irregularidades de funcionamiento e incluso puede llegar a tener que pararse la instalación para proceder a la demolición de la pegadura.

Modulo de fundentes (MF): Se denomina modulo de fundentes a la relación  $Al_2O_3/Fe_2O_3$ . Esta relación tiene un valor limite de 0.64 por debajo del cual es estable la formación de Ferrito dicálcico, e inestable la de Aluminato tricálcico, mientras que para valores por encima de 0.64 existe aluminato tricálcico pero no ferrito dicálcico en el clinker.

El cemento blanco está prácticamente exento de hierro, y en este caso, el módulo de fundentes es muy alto mientras que en el cemento "PY", Cemento Portland Resistente a los Sulfatos, ( tipo V de la ASTM) el aluminato tricálcico ha de ser inferior al 5%, y a veces su contenido es nulo. En ese caso el módulo de fundentes es próximo a 0.64 .

Estándar de Cal (SC): Hay varias fórmulas para expresar

el grado de saturación de cal; pero una de las más frecuentes es la K.ST.III de Hans Kuhl:

$$SC = \frac{CaO}{(2.8SiO_2 + 1.18Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3)} \times 100 \quad (29)$$

En esta fórmula los coeficientes de la  $Al_2O_3$  y del  $Fe_2O_3$  son experimentales, mientras que el coeficiente de 2.8 de la sílice es el correspondiente a  $3.CaO/SiO_2 = 3 \times 56/60 = 168/60 = 2.8$ , que es la máxima proporción de  $CaO$  capaz de combinarse con la  $SiO_2$ .

La proporción máxima de silicato tricálcico en el clinker se consigue cuando el estándar de cal es próximo a 100, y no hay cal libre, es decir cuando está bien cocido y el enfriamiento ha sido lo suficientemente rápido para evitar la descomposición que se produce del silicato tricálcico en silicato dicálcico y cal libre, cuando su enfriamiento es lento.

Si este valor es superior a 100, lógicamente ha de haber cal libre, porque hay más cal que la que son capaces de consumir los elementos ácidos.

Cuando se pretende que la proporción de silicato no sea muy alta, con objeto de obtener un cemento con poco calor de hidratación, como es el destinado a presas o a elementos de hormigón de gran volumen, entonces el grado de saturación del clinker debe ser más bajo, próximo a 90.

En el caso de utilizar carbón como combustible, en el que las cenizas del mismo se incorporan al crudo, se ha de corregir este conociendo la composición de las cenizas con objeto de que el clinker sea de la composición química deseada. Como las cenizas son normalmente ácidas, con un estándar de cal muy bajo, se necesita que la "harina" cruda tenga un estándar de cal de 102 a 105 para compensar las cenizas del carbón.

### Fase líquida a 1450°C

El contenido de fase líquida a 1450 °C, que es aproximadamente la temperatura de clinkerización, es de gran importancia para el funcionamiento del horno. Los compuestos de SiO<sub>2</sub> y CaO no funden en el horno, sino que tiene lugar una reacción en estado sólido de los silicatos, que son aproximadamente el 80%. Esta reacción se favorece por la presencia de la fase líquida que facilita el contacto entre la cal y el silicato dicálcico previamente formado.

En segundo lugar tiene importancia la fase líquida para el comportamiento físico del clinker en el horno. Como decíamos al hablar del módulo de silicatos, si hay poca fase líquida, los silicatos no se aglomeran, entonces el clinker es de grano muy fino, o en forma de polvo, circulando mal en el interior del horno, siendo arrastrado por el tiro del mismo y perjudicando al rendimiento térmico y a la transmisión de calor de la llama, aparte del alto consumo de refractario, ya citado anteriormente.

Un exceso de fase líquida también perjudica porque presenta el clinker entonces gran tendencia a formar gruesas bolas, que se enfrían después lentamente, descomponiéndose en ocasiones el silicato tricálcico en silicato dicálcico y cal libre, y sobre todo dando lugar a un bajo rendimiento térmico del horno. Por otra parte, como se citó también anteriormente, el exceso de fase líquida favorece la formación de anillos.

### Factor de cocibilidad

Es un índice experimental, relativo, válido para una instalación con los mismos materiales, pero no como índice de una fábrica a otra.

$$FC = SC + 10 \cdot MS - 3(MgO + K_2O + Na_2O)$$

(30)

Un aumento del factor de cocibilidad supone un mayor consumo de combustible por tonelada y al revés. El factor de cocibilidad se define como el estándar de cal (SC) más 10 veces el módulo de silicatos menos tres veces la suma de la magnesia y los álcalis.

Manteniendo constante el factor de cocibilidad, o sea, la composición química, y la finura del crudo, se mantiene también constante el consumo específico de calor de clinkerización, siempre que la composición mineral de la "harina" se mantenga también constante, por ser de la misma procedencia, y el caudal de alimentación sea regular y uniforme.

#### Error de cal ( $\Delta C$ )

El error de cal, al que haremos alusión en la dosificación de materias primas, es la cantidad de cal que falta o sobra para que el estándar de cal sea el valor fijado.

$$\Delta C = (2.8 \text{ SiO}_2 + 1.18 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0.65 \text{ Fe}_2\text{O}_3) \cdot \text{SC} / 100 - \text{CaO} \quad (31)$$

### 5.5 DOSIFICACION DE LAS MATERIAS PRIMAS

1.- Dos materiales uno alto y otro bajo en cal.

El caso más sencillo de dosificación de materias primas se presenta cuando se parte de un material alto en cal y otro bajo en cal, utilizando el contenido de carbonatos como índice. Se obtiene realizando una valoración acidimétrica:

A un gramo de material molido y seco se añaden 20 ml de HCl 1N y después de hervir se valora con NaOH 0.2 N utilizando fenolftaleína como indicador.

El % de  $\text{CaCO}_3$  es igual a  $100 - \text{cc de NaOH } 0.2 \text{ N}$

consumidos.

Si se parte de un material alto en  $\text{CaCO}_3$  "A" cuya calcimetría es CA y de otro bajo "B" cuya calcimetría es CB y queremos obtener una calcimetría normal CN, aplicando la regla de las mezclas:

$$\begin{array}{ccc} \text{CA} & & \text{CN-CB} \\ & \text{CN} & \\ \text{CB} & & \text{CA-CN} \end{array}$$

La proporción a mezclar de material será:

$$\% \text{CA} = (\text{CN}-\text{CB}) / (\text{CA}-\text{CB}) \times 100 \quad (32)$$

$$\% \text{CB} = (\text{CA}-\text{CN}) / (\text{CA}-\text{CB}) \times 100 \quad (33)$$

Este método adolece de algunos inconvenientes importantes

1.- El contenido de carbonato cálcico obtenido en la valoración acidimétrica es, en caso de estar el MgO como  $\text{MgCO}_3$ :

$$\text{C} = 1.785 \text{ CaO} + 2.5 \text{ MgO} \quad (34)$$

Esto quiere decir que si el contenido de MgO no es constante, la valoración acidimétrica de las materias primas no es suficiente porque puede dar lugar a un error considerable en lo que respecta al contenido de cal y saturación de la misma. Puede subsanarse valorando el contenido de magnesia mediante una valoración acidimétrica adicional similar pero empleando timolftaleína como indicador, la diferencia entre las dos valoraciones corresponde al contenido de magnesia.

2.- Es muy frecuente que el contenido de sílice y



alúmina de las materias primas no sea constante para un determinado contenido de carbonato de calcio. En este caso la saturación de cal variará para el mismo contenido de carbonato de calcio.

Resulta más exacto para mantener un estándar de cal constante en el clinker, calcular el error de cal a partir de sus análisis químicos y a partir de estos valores efectuar la mezcla.

#### Dosificación de materias primas a partir del error de cal.

Como se dijo anteriormente, el error de cal para un estándar de cal previamente fijado es la cantidad de cal que le falta o le sobra para conseguir ese SC. Para poder conseguir un determinado estándar de cal es necesario que el error de cal de una de las materias primas sea positivo (material bajo) y otro negativo (material alto). Cuanto más próximos estén ambos del valor fijado las oscilaciones serán más pequeñas.

$$\Delta C = (2.8 \text{ SiO}_2 + 1.18 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0.65 \text{ Fe}_2\text{O}_3) \cdot \text{SC} / 100 - \% \text{CaO} \quad (35)$$

donde  $\Delta C$  es el error de cal;  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{CaO}$  son los porcentajes principales de óxidos del análisis de la materia prima y SC el estándar de cal fijado.

Si el error de cal del material bajo es  $+ C(B)$  y el del material alto es  $- C(A)$ , la proporción a mezclar será:

$$\%A = C(B) / (C(A) + C(B)) \times 100 \quad (36)$$

$$\%B = C(A) / (C(A) + C(B)) \times 100 \quad (37)$$

Preparación de un crudo de índices prefijados partiendo de varias materias primas

El número de índices que pueden fijarse es igual al número de materias primas menos uno, siempre que no sean incompatibles entre sí. El índice fundamental es el estándar de cal, al que suele fijarse un valor entre 98 y 100. Hay dos procedimientos que venimos empleando desde hace tiempo, ideados por nosotros:

El de composiciones límites.

El de la resolución de un sistema de ecuaciones.

Procedimiento de las composiciones límites

Se fija en primer lugar el estándar de cal deseado y se determina el error de cal de cada una de las materias primas y correctores disponibles. Supongamos que disponemos de una caliza, una marga, un corrector aluminoso y una pirita. Se calcula el error de cal, que será negativo el de caliza y positivo el de los otros tres. Entonces se calculan las tres mezclas binarias de estándar de cal deseado, a saber, caliza-marga, caliza-corrector y caliza-pirita ... (llamamos pirita a las cenizas de pirita calcinadas, que se utilizan en las fábricas de cemento como aportador de  $Fe_2O_3$  ).

A estas mezclas binarias se calcula su composición química y los tres índices fundamentales: SC, MS, y MF.

El SC será en los tres casos el valor fijado y los valores del MS son los límites alcanzables con esas materias primas. A continuación se fija el segundo índice, el MS, para el que corrientemente se da el valor de 2.5 .

Se calcula ahora el error de sílice con el valor del módulo de silicatos seleccionado , MS, de las tres muestras binarias teniéndose:

$$\Delta S = (Al_2O_3 + Fe_2O_3) \times MS - SiO_2 \quad (38)$$

Si el error de sílice en una de las muestras es negativo y en las otras dos es positivo, el sistema tiene solución; pero si en las tres muestras es positivo, o sea, del mismo signo, el sistema es irresoluble, y, en este caso habría que seleccionar otro valor del módulo de silicatos, u otras materias primas.

Si el sistema tiene solución se preparan las dos mezclas ternarias posibles que tendrán el estándar de cal y el módulo de fundentes seleccionados.

Si las materias primas eran caliza=C, marga=M, corrector aluminoso=S, y cenizas de pirita=P, las tres mezclas binarias serían :

CM -- CS -- CP

y las dos ternarias serían

CM -- CS    y    CS -- CP

Calculando a estas dos últimas mezclas su composición química y sus índices resulta que se corresponden con los valores máximo y mínimo del módulo de fundentes alcanzables. Se selecciona ahora el tercer módulo, el módulo de fundentes y, como ocurría con el módulo de silicatos, el valor ha de ser intermedio a los valores de las mezclas para que el sistema tenga solución. Si el valor seleccionado es MF, se calcula el error de alúmina mediante la ecuación:

$$Al = Fe_2O_3 \times MF - Al_2O_3 \quad (39)$$

que será uno positivo y otro negativo. Con estos errores

de alúmina se calcula la mezcla cuaternaria y los porcentajes totales de cada uno de los cuatro componentes.

#### Procedimiento de un sistema de ecuaciones

Aunque el procedimiento de las composiciones límites tiene la ventaja de ir viendo los límites de composición y los de los índices que se van consiguiendo al efectuar las mezclas binarias y ternarias tiene el gran inconveniente de que es muy largo, por eso este otro procedimiento es más empleado; no obstante, si alguno de los porcentajes de materia prima resulta negativo el sistema es incompatible debiendo modificarse los índices seleccionados o las materias primas.

Si los valores seleccionados de los módulos son: "SC", "MS" y "MF" para el estándar de cal, módulo de silicatos y módulo de fundentes, respectivamente, el sistema de ecuaciones será:

$$(2.8 \times \text{SiO}_2 + 1.18 \times \text{Al}_2\text{O}_3 + 0.65 \times \text{Fe}_2\text{O}_3) \times (\text{SC}/100) - \text{CaO} = 0 \quad (40)$$

$$(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3) \times \text{MS} - \text{SiO}_2 = 0 \quad (41)$$

$$(\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{MF} - \text{Al}_2\text{O}_3) = 0 \quad (42)$$

$$\%C + \%M + \%S + \%P = 100 \quad (43)$$

#### Aportación de cenizas del carbón

Si se conoce el contenido de cenizas del carbón, el consumo específico de calor en Kcal/Kg de clinker y la potencia calorífica del carbón, puede calcularse el porcentaje de aportación de cenizas al crudo, que viene a ser del 1% aproximadamente.

Conociendo la composición química de las cenizas del carbón, se incluye en el sistema de ecuaciones el % de cenizas incorporadas y su composición aportada.

En el apéndice se adjunta un programa en BASIC para el cálculo de dosificación de un crudo y clinker de cemento portland, a partir de cuatro materias primas, teniendo en cuenta o no la aportación de cenizas del carbón. El programa da la proporción de las materias primas, el análisis del crudo y del clinker y los índices resultantes.

## 6. RESULTADOS EXPERIMENTALES

## 6. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Las figuras 18 y 19 muestran a título de ejemplo algunos diagramas de difracción de rayos-X correspondientes a cementos de la serie Alcalá de Guadaira-Morón de la Frontera y de Lloseta. En las figuras 20 y 21 se muestran asimismo algunas de las fotografías obtenidas con el microscopio óptico con luz reflejada de los cementos mencionados. Tanto en los diagramas de difracción de rayos-X, como en las fotografías pueden observarse las principales fases mineralógicas: alita ( $C_3S$ ), bredigita ( $\alpha-C_2S$ ), larnita ( $B-C_2S$ ), ferrito dicálcico ( $C_2F$ ), aluminato tricálcico ( $C_3A$ ), ferroaluminato tetracálcico (brownmillerita,  $C_4AF$ ) y cal libre. De acuerdo con ambas técnicas la fase mayoritaria es la alita, seguida a distancia por el ferroaluminato tetracálcico y el silicato bicálcico.

En las tablas XIII a XVIII se recogen los resultados del análisis químico de las muestras objeto de estudio.

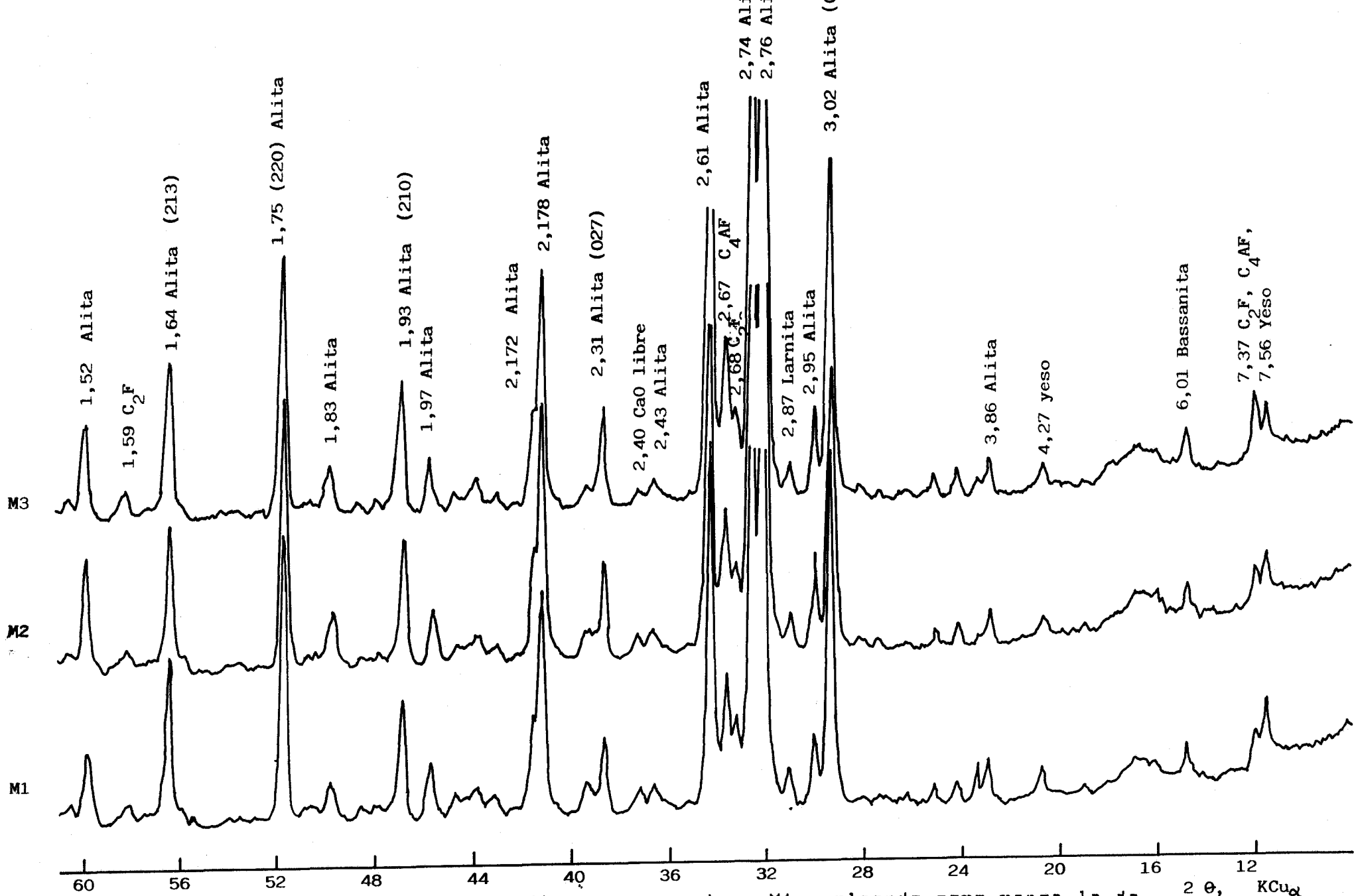


Fig. 18 Diagramas de DRX de diversos cementos. M1=empleando como marga la de Alcalá de Guadaira; M2=85% de A. de G. y 15% de Morón de la Frontera; M3=75% de A. de G. y 25% de M. de la F.



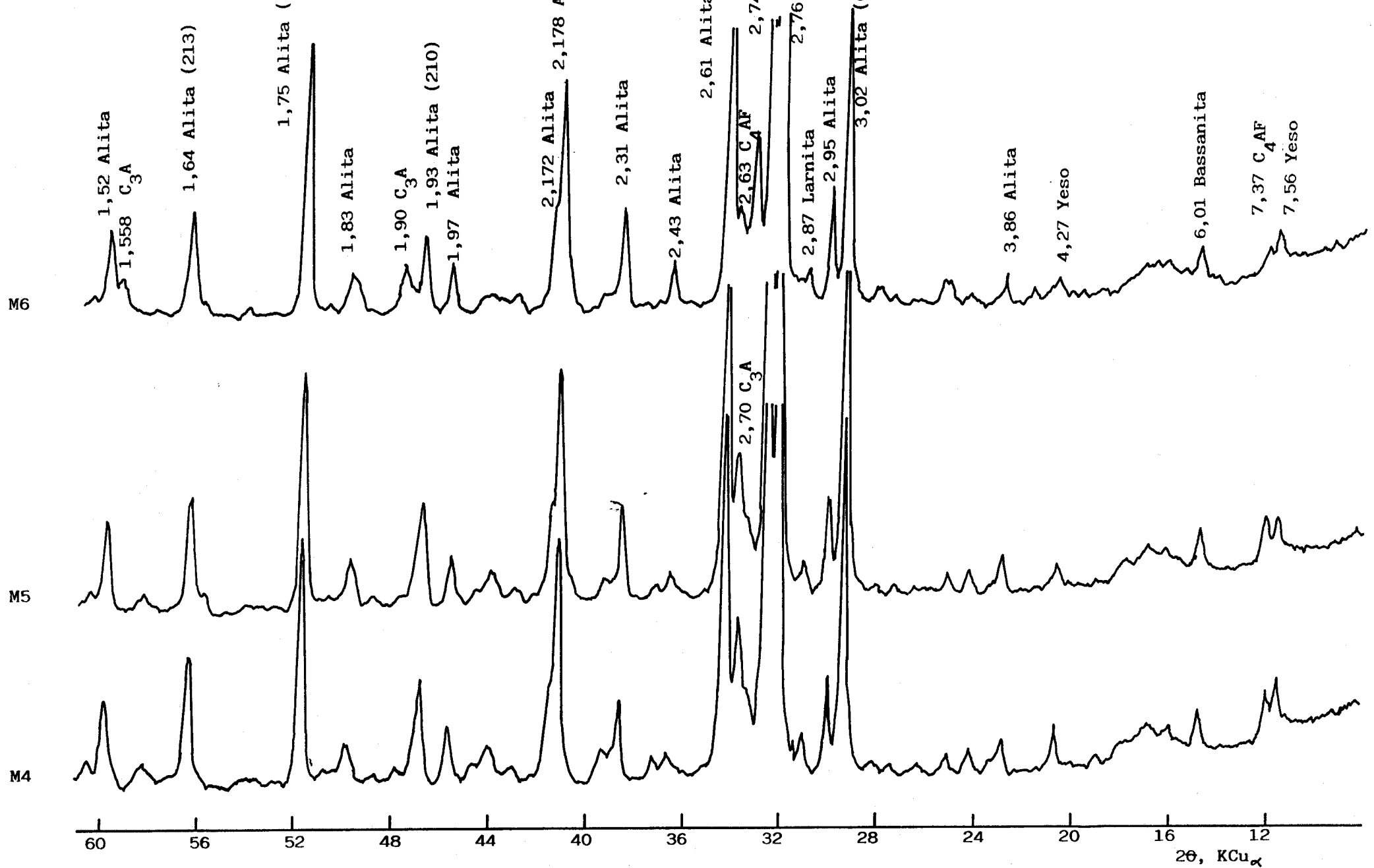


Fig. 19 Diagramas de DRX de diversos cementos. M4=empleando como marga un 67% de la de Alcalá de Guadaíra y un 33% de la de Morón de la Frontera; M5=50% de A. de G. y 50% de M. de la F.; M6=sólo marga de Lloseta.

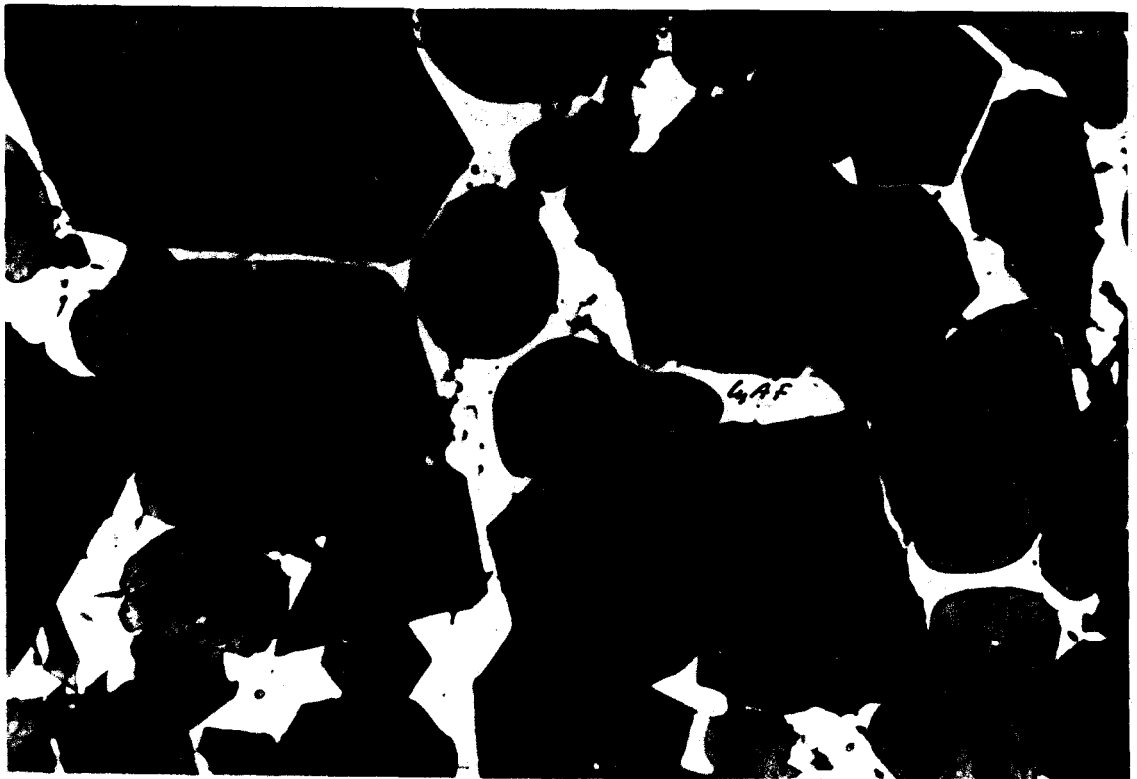
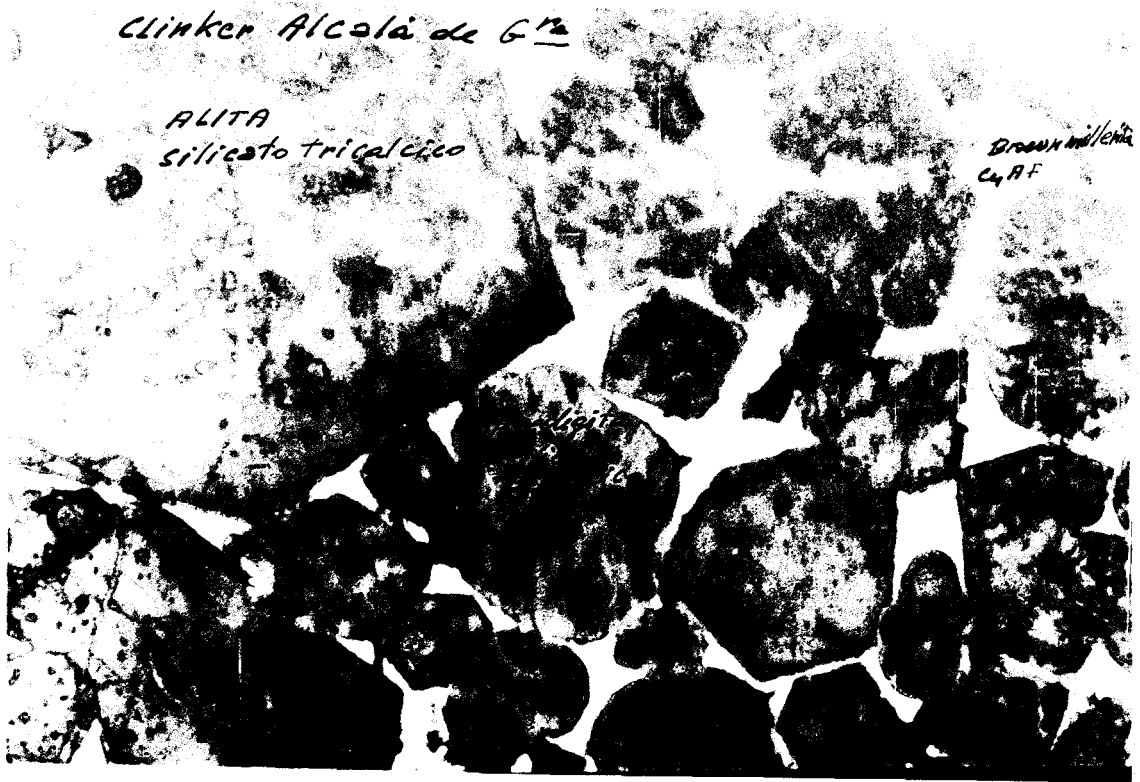


Fig. 20 Fotografías de clinker que emplearon en su elaboración marga de Alcalá de Guadaira obtenidas con el microscópio óptico con luz reflejada.

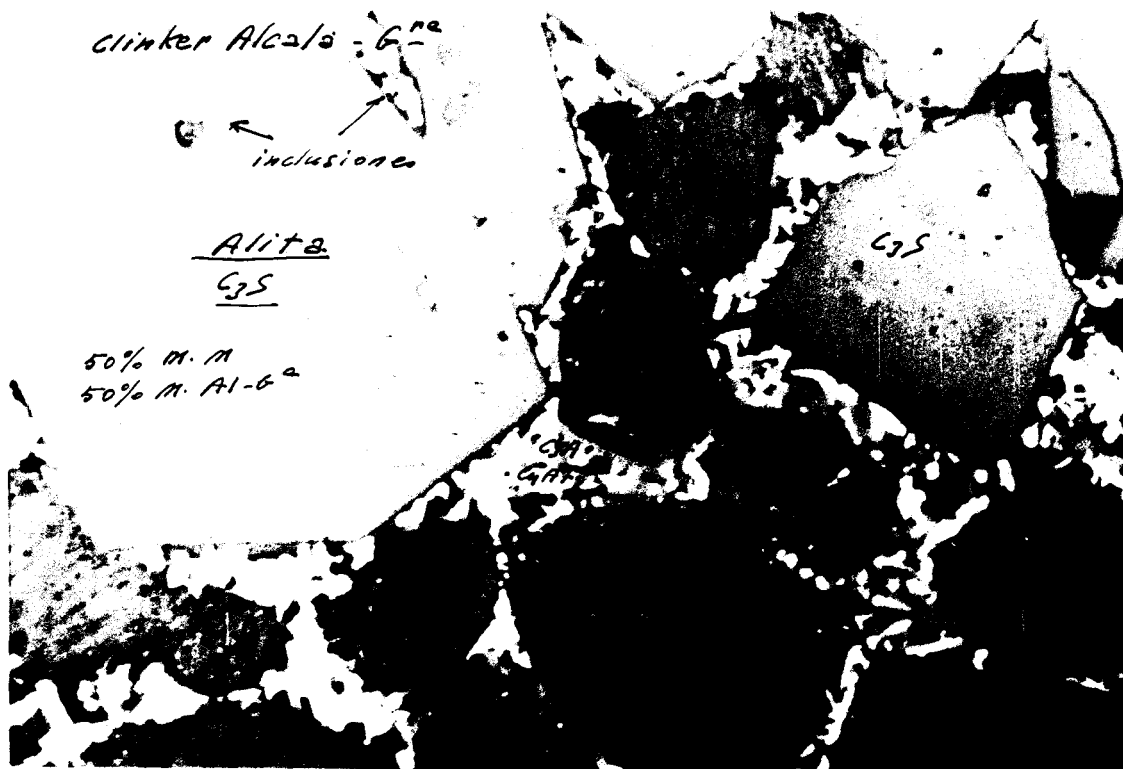


Fig. 24 Fotografías obtenidas con el microscópio óptico con luz reflejada de clinker que emplearon en su elaboración

a) una mezcla de un 50% de marga de Alcalá de Guadaira y un 50% de marga de Morón de la Frontera del total de marga, y

b) marga de Lloseta

TABLA XIV

Análisis químico de las muestras correspondientes a un 85% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 15% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestras	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
0426	21,88	2,95	5,39	67,20	1,00	0,27	0,93
0427	22,02	2,93	5,17	67,20	1,00	0,27	0,93
media	21,95	2,94	5,28	67,20	1,00	0,27	0,93
d.s.	0,09	0,01	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00

TABLA XV

Análisis químico de las muestras correspondientes a un 75% de marga de Alcalá de Guadaíra y a un 25% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestras	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
0406	21,32	2,93	6,13	66,64	0,90	0,32	1,20
0407	21,38	3,22	5,54	66,92	0,90	0,32	1,06
0408	21,72	3,01	5,25	67,20	0,90	0,32	1,05
0409	21,40	2,56	5,36	67,48	0,90	0,32	1,09
0410	20,86	3,16	5,36	67,48	0,90	0,32	1,07
0411	20,08	2,87	4,43	67,76	0,90	0,32	1,05
0412	20,08	2,87	4,43	67,76	0,90	0,32	1,05
media	20,97	2,94	5,21	67,32	0,90	0,32	1,08
d.s.	0,66	0,21	0,60	0,42	0,00	0,00	0,05

TABLA XVI

Análisis químico de las muestras correspondientes a un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 33% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestras	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
0418	21,74	3,38	4,66	67,20	1,00	0,35	0,94
0419	21,74	3,38	4,66	67,20	1,00	0,35	0,94
0421	20,58	3,09	5,19	67,76	1,00	0,35	1,03
0422	21,00	3,23	5,15	67,76	1,00	0,35	1,13
0423	22,20	3,58	4,38	67,06	1,00	0,35	0,96
0424	21,79	3,00	4,32	67,48	1,00	0,35	1,09
0425	21,88	3,39	4,07	67,70	1,00	0,35	1,02
0927	20,97	2,90	5,13	67,48	1,00	0,35	1,20
0930	20,42	3,10	5,08	67,76	1,00	0,35	1,44
1007	20,51	3,51	5,04	67,48	1,00	0,35	1,20
1008	20,84	3,41	5,05	67,34	1,00	0,35	1,10
1009	20,59	3,50	4,93	67,90	1,00	0,35	1,00
1016	20,85	3,21	5,04	66,36	1,00	0,35	2,14
1017	20,49	3,23	4,85	67,48	1,10	0,35	1,48
1018	20,50	3,14	4,94	67,34	1,10	0,35	1,25
1019	20,41	3,22	4,73	67,62	1,10	0,35	1,11
1020	20,26	3,49	4,59	67,76	1,10	0,35	1,19
1023	20,69	2,91	4,99	67,76	1,00	0,35	1,19
1027	21,22	2,66	4,92	67,34	0,90	0,35	1,19
1029	21,42	2,84	4,46	67,62	1,00	0,35	1,22
1030	21,30	3,03	4,77	67,62	1,00	0,35	1,27
1031	21,32	3,35	4,81	67,20	1,00	0,35	1,25
1101	20,91	3,21	4,76	67,34	1,00	0,35	1,25
media	21,02	3,20	4,80	67,46	1,01	0,35	1,20
d.s.	0,55	0,24	0,29	0,32	0,05	0,35	0,24

TABLA XVII

Análisis químico de las muestras correspondientes a un 50% de marga de Alcalá de Guadaíra y a un 50% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestras	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
0318	21,55	3,28	4,24	67,70	1,05	0,44	1,12
0319	21,50	3,83	3,91	67,70	0,98	0,44	1,11
0321	21,50	4,22	4,14	66,34	0,98	0,44	1,10
0322	21,52	3,43	3,61	67,43	0,98	0,44	1,10
0323	21,90	2,70	5,00	66,82	0,80	0,44	1,08
0812	21,86	3,06	4,46	67,76	1,10	0,44	0,75
0817	22,28	2,92	3,90	67,76	1,20	0,44	0,75
0819	21,85	2,75	4,03	68,32	1,20	0,44	0,81
0821	21,28	3,44	3,94	68,32	1,20	0,44	0,97
0830	21,92	3,37	3,63	67,62	1,20	0,44	1,10
0831	21,75	3,13	4,02	68,04	1,20	0,44	1,15
0904	20,98	3,12	4,34	68,18	1,20	0,44	1,10
0910	21,04	3,44	3,94	68,04	1,20	0,44	1,07
0915	21,18	3,42	3,78	68,04	1,20	0,44	1,05
0917	21,58	3,00	4,34	67,62	1,20	0,44	1,03
0922	21,34	2,80	3,90	68,04	1,20	0,44	1,25
0923	21,36	3,26	4,10	67,48	1,20	0,44	1,59
0925	21,43	3,24	4,57	66,92	1,20	0,44	1,40
media	21,54	3,24	4,10	67,67	1,12	0,44	1,08
d.s.	0,33	0,37	0,34	0,53	0,11	0,00	0,20

TABLA XVIII

Análisis químico correspondiente a las muestras con marga de Lloseta como única marga de la mezcla.

Muestra	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>
153	21,00	6,06	2,68	66,95	--	0,90	0,93
156	21,02	6,52	2,80	66,67	--	0,79	1,29
168	21,10	6,08	2,60	66,67	--	1,05	1,24
169	21,10	6,31	2,72	66,38	--	0,95	1,28
170	20,80	6,33	2,60	66,67	--	0,83	1,20
171	21,23	5,97	2,60	66,67	--	0,80	1,29
179	21,12	5,88	2,84	66,73	--	0,80	1,26
181	21,54	5,82	2,68	66,45	--	0,82	1,20
182	21,05	6,08	2,60	67,01	--	0,58	1,07
183	21,24	6,01	2,64	66,45	--	0,79	1,23
184	21,20	5,97	2,60	67,01	--	0,78	1,00
186	21,55	5,86	2,64	66,45	--	0,81	1,28
187	21,22	5,93	2,64	66,73	--	0,86	1,30
188	20,88	6,04	2,80	66,73	--	0,78	1,29
189	20,84	5,56	2,60	66,45	--	0,84	1,63
190	21,13	5,57	2,64	67,01	--	0,72	1,40
191	20,94	6,09	2,68	66,59	--	0,80	1,42
193	21,50	6,84	2,64	66,59	--	0,78	1,29
195	21,01	6,08	2,60	66,73	--	0,76	1,48
196	20,96	5,80	2,60	66,73	--	0,70	1,56
197	21,05	6,12	2,60	66,45	--	0,75	1,41
198	21,40	6,03	2,52	66,73	--	0,60	1,33
199	21,56	6,03	2,52	66,59	--	0,49	1,36
202	21,32	6,07	2,56	66,73	--	0,84	1,42
203	21,20	6,22	2,60	66,45	--	0,75	1,25
207	21,40	6,02	2,60	66,17	--	0,79	1,38
209	21,24	6,09	2,68	66,37	--	0,86	1,40
210	20,92	5,71	2,68	66,66	--	0,85	1,29
211	20,94	6,21	2,64	66,66	--	0,72	1,20
media	21,15	6,01	2,64	66,63		0,78	1,29
d. s.	0,21	0,20	0,07	0,20		0,10	0,14

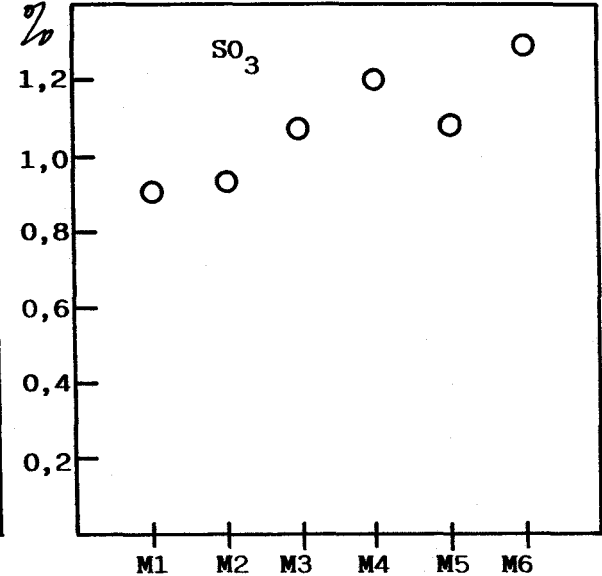
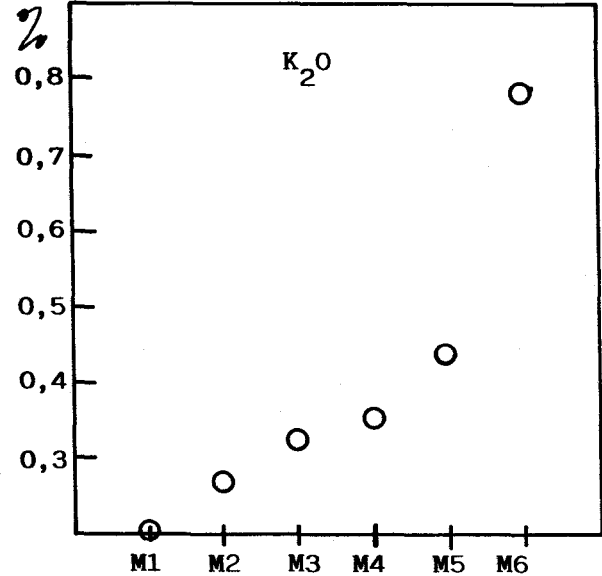
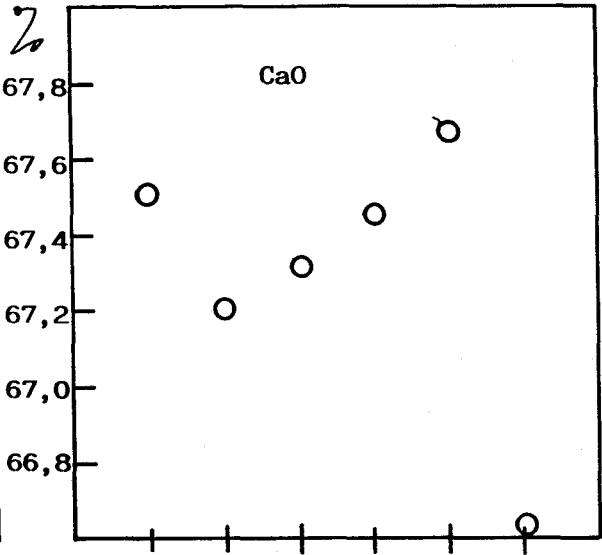
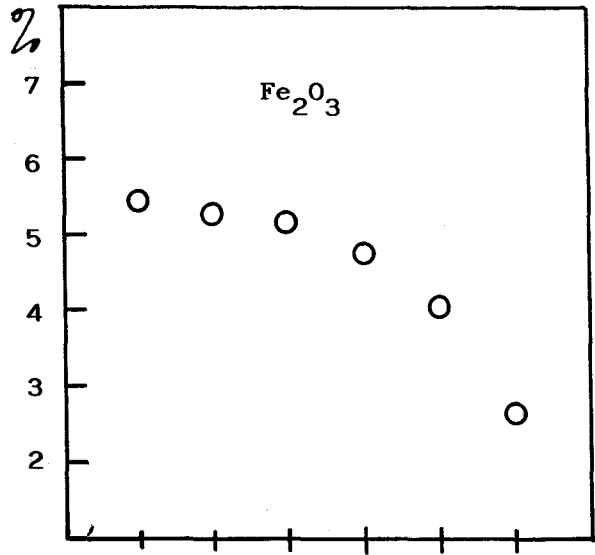
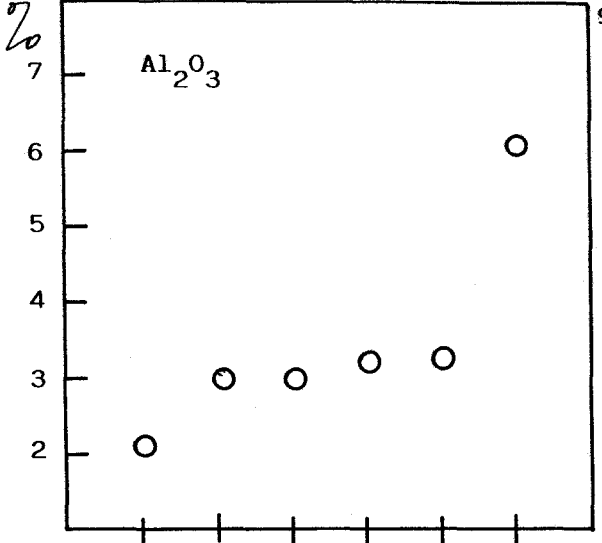
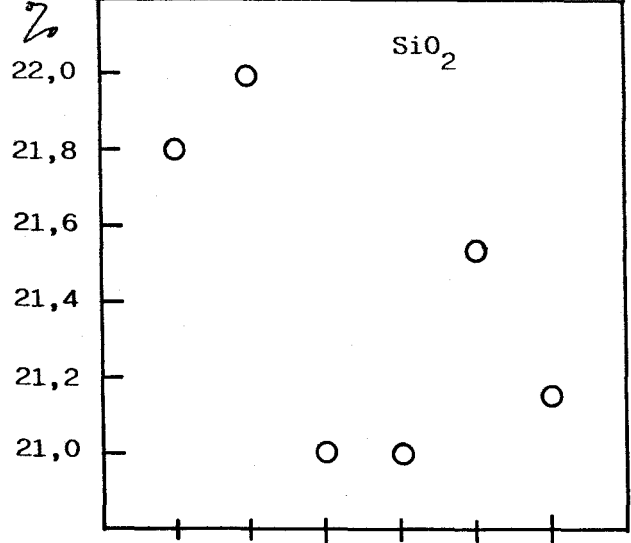


Fig. 22 Porcentajes medios de óxidos en el clinker en función de las distintas margas empleadas. M1=100% de Alcalá de Guadaíra, M2=85% de A. de G. y 15% de Morón de la Frontera, M3=75% de A. de G. y 25% de M. de la F., M4=67% de A. de G. y 33% de M. de la F., M5=50% de A. de G. y 50% de M. de la F., M6=marga de Lloseta.



Como puede observarse (tablas XIII a XVIII) los porcentajes de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{CaO}$  se mantienen en torno al 21% y 67% respectivamente, independientemente de la marga empleada.

Los porcentajes de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , del orden del 5%, experimentan un ligero descenso a medida que se incorpora marga de Morón de la Frontera a la de Alcalá de Guadaira; en el caso de marga de LLoseta el contenido de óxido de hierro es mínimo, no sobrepasando el 3% en ningún caso.

El contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , próximo al 2,5% en muestras con 100% de marga de Alcalá de Guadaira del total de marga, aumenta sensiblemente al añadir marga de Morón de la Frontera, llegándose a valores del 3,5%. En muestras con marga de LLoseta se alcanzan porcentajes prácticamente dobles, es decir, del 6%.

Los contenidos, bajos, de  $\text{MgO}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  en muestras de la serie Alcalá de Guadaira-Morón de la Frontera, aumentan a medida que lo hace la proporción de marga de Morón de la Frontera, oscilando desde 0,8% a 1,2% para el  $\text{MgO}$  y desde 0,20% a 0,44% para el  $\text{K}_2\text{O}$ . En muestras con marga de LLoseta no se observa  $\text{MgO}$ , estando el porcentaje de  $\text{K}_2\text{O}$  cercano en todos los casos al 0,8%.

El  $\text{SO}_3$  se encuentra en torno al 1% para muestras con mezcla de margas de Alcalá de Guadaira y de Morón de la Frontera, y en un porcentaje algo mayor en muestras con marga de LLoseta.

En la figura 22 se representan los porcentajes medios de óxidos en función del tipo de marga utilizada en la preparación de la mezcla primaria a partir de la cual se obtuvieron el clinker, cemento y posterior mortero.

La composición mineralógica potencial de los clinkers se calcula mediante las fórmulas de Bogue (norma ASTM C-150):

Si la relación  $Al_2O_3/Fe_2O_3$  es mayor de 0,64 se tiene:

$$C_3S = 4,071 \times \% CaO - (7,600 \times \% SiO_2 + 6,781 \times \% Al_2O_3 + 1,43 \times \% Fe_2O_3 + 2,852 \times \% SO_3) \quad (44)$$

$$C_2S = 2,867 \times \% SiO_2 - 0,7544 \times \% C_3S \quad (45)$$

$$C_3A = 2,650 \times \% Al_2O_3 - 1,692 \times \% Fe_2O_3 \quad (46)$$

$$C_4FA = 3,043 \times \% Fe_2O_3 \quad (47)$$

Si la relación  $Al_2O_3/Fe_2O_3$  es menor de 0,64 se tiene:

$$C_3S = 4,071 \times \% CaO - (7,600 \times \% SiO_2 + 4,479 \times \% Al_2O_3 + 2,859 \times \% Fe_2O_3 + 2,852 \times \% SO_3) \quad (48)$$

$$C_2S = 2,867 \times \% SiO_2 - 0,7544 \times \% C_3S \quad (49)$$

$$C_4FA = 4,76 \times \% Al_2O_3 \quad (50)$$

$$C_2F = 1,70 \times \% Fe_2O_3 - 2,65 \times \% Al_2O_3 \quad (51)$$

En la norma ASTM C-150 no se calculan separadamente los contenidos de  $C_4AF$  y  $C_2F$  si la relación alúmina/óxido de hierro es menor de 0,64, sino la suma de ambos:

$$C_4AF + C_2F = 2,1 \times \%Al_2O_3 + 1,702 \times \%Fe_2O_3 \quad (52)$$

Sin embargo, en la presente tesis se han calculado siempre separadamente los contenidos potenciales de ambas fases, a fin de poder relacionarlos con la aportación a la resistencia de los morteros.

Las escasas difracciones del  $C_2S$  que no solapan con alguna de las de  $C_3S$  en los diagramas de difracción de rayos-X de los clinkers permiten comprobar que las relaciones % alita / % larnita son del mismo orden que las obtenidas por aplicación del método de Bogue, usual en la investigación de cementos, según el cual se han calculado las composiciones mineralógicas.

En las tablas XIX a la XXIV se indica la composición mineralógica potencial de los clinkeres obtenidos según se acaba de describir.

TABLA XIX

Composición mineralógica potencial de las muestras correspondientes al 100% de marga de Alcalá de Guadaíra del total de marga.

Muestra	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	C <sub>2</sub> F	Cal libre
0114	66,1	14,0	--	11,80	3,10	1,70
0115	70,4	10,2	--	9,90	3,70	2,30
0116	75,8	3,9	--	7,50	5,40	2,70
0117	82,4	0,0	--	7,80	5,70	1,00
0118	73,3	5,7	--	9,70	4,20	3,13
0119	73,5	6,8	--	9,00	4,30	2,60
0120	81,9	0,9	--	9,10	4,10	0,80
0125	78,6	1,5	--	9,80	4,50	1,60
0126	78,8	3,0	--	8,20	4,70	1,40
0127	79,5	2,6	--	10,3	3,60	0,70
0128	66,9	11,9	--	10,2	4,30	2,90
0129	74,4	3,7	--	9,20	4,90	3,70
0203	73,5	6,6	--	12,7	1,50	1,00
0204	76,9	4,1	--	10,8	3,40	1,50
0205	72,7	7,8	--	10,5	3,30	2,30
0206	72,8	7,8	--	11,0	3,20	1,90
0207	70,7	9,4	--	10,0	3,90	2,20
0208	64,0	14,7	--	10,1	3,70	3,60
0209	74,4	6,0	--	9,50	3,60	2,60
0210	74,0	6,6	--	11,6	3,00	1,30
0211	66,7	11,6	--	11,1	3,90	3,20
0214	76,6	4,7	--	10,7	3,20	1,00
0215	76,6	4,7	--	10,7	3,20	1,00
0216	75,8	5,2	--	9,80	4,40	1,20
0217	76,1	5,4	--	9,60	3,80	1,50
0218	71,8	5,2	--	10,3	4,10	1,10
0219	70,4	9,2	--	9,40	4,30	2,90
0223	77,0	3,4	--	9,20	4,70	1,00
0224	77,0	3,4	--	9,20	4,70	1,10
0225	73,8	7,5	--	9,60	3,60	1,10
0226	72,8	8,3	--	10,2	1,30	2,50
0301	72,1	9,4	--	10,9	1,90	1,30
0302	71,4	11,0	--	10,3	2,00	0,80
0306	75,6	6,6	--	10,7	2,40	0,90
media	73,9	6,6		10,0	3,69	1,80
d.s.	4,21	3,6		1,03	1,02	0,89

TABLA XX

Composición mineralógica potencial correspondiente a las muestras con un 85% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 15% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestra	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	C <sub>2</sub> F	CaO libre
0426	73,5	7,2	--	14,0	1,30	0,6
0427	72,8	8,2	--	13,9	1,00	0,7
media	73,1	7,7		13,95	1,15	0,65
d.s.	0,49	0,7		0,07	0,21	0,07

TABLA XXI

Composición mineralógica potencial correspondiente a las muestras con un 75% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 15% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestra	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	C <sub>2</sub> F	CaO libre
0406	69,4	8,7	0,0	13,9	2,6	1,4
0407	72,5	6,5	0,0	15,3	0,8	1,0
0408	72,9	7,2	0,0	14,3	0,9	1,0
0409	78,1	2,4	0,0	12,1	2,3	1,0
0410	79,5	0,3	0,0	15,0	0,7	1,0
0411	74,9	6,7	0,1	13,4	0,0	1,1
0412	74,9	6,7	0,1	13,4	0,0	1,1
media	74,6	5,5	0,02	13,9	1,04	1,08
d.s.	3,43	2,99	0,04	1,08	1,03	0,14

TABLA XXII

Composición mineralógica potencial correspondiente a las muestras con un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 33% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestra	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	C <sub>2</sub> F	CaO libre
0418	72,4	7,8	1,0	14,1	0,0	1,0
0419	72,4	7,8	1,0	14,1	0,0	1,0
0421	76,8	1,0	0,0	14,7	0,6	2,7
0422	77,7	1,5	0,0	15,3	0,1	0,5
0423	70,5	10,4	1,5	13,3	0,0	0,5
0424	72,7	7,5	0,6	13,1	0,0	1,7
0425	72,9	7,7	2,0	12,3	0,0	1,2
0927	77,3	1,7	0,0	13,8	1,0	1,7
0930	78,3	0,6	0,0	14,7	0,0	2,4
1007	76,8	0,7	0,7	15,3	0,0	1,9
1008	74,3	3,6	0,4	15,3	0,0	2,0
1009	77,9	0,2	0,9	15,0	0,0	2,1
1016	61,3	13,5	0,0	15,2	0,0	3,8
1017	80,1	2,0	0,3	14,7	0,0	1,6
1018	77,2	0,5	0,0	14,9	0,0	2,3
1019	80,0	1,9	0,5	14,3	0,0	2,1
1020	81,1	3,2	1,4	13,9	0,0	1,8
1023	79,7	0,9	0,0	13,8	0,7	2,0
1027	78,6	1,5	0,0	12,6	1,3	1,2
1029	76,5	3,6	0,0	13,5	0,3	1,6
1030	76,8	3,0	0,0	14,4	0,0	1,4
1031	69,2	8,8	0,7	14,6	0,0	2,3
1101	72,2	5,4	0,4	14,4	0,0	2,7
media	75,35	4,12	0,49	14,23	0,19	1,84
d.s.	4,48	3,73	0,57	0,84	0,36	0,69

TABLA XXIII

Composición mineralógica potencial correspondiente a las muestras con un 50% de marga de Alcalá de Guadaíra y a 50% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestra	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	C <sub>2</sub> F	CaO libre
0318	76,0	4,4	1,4	12,9	0,0	1,1
0319	73,2	6,3	3,5	11,8	0,0	1,1
0321	64,3	13,0	4,1	12,5	0,0	1,2
0322	77,1	3,4	2,9	10,9	0,0	0,6
0323	72,4	8,1	0,0	12,8	1,3	0,9
0812	76,6	4,8	0,5	13,5	0,0	1,0
0817	75,1	7,2	1,1	11,8	0,0	1,0
0819	78,6	3,3	0,4	12,2	0,0	1,7
0821	80,8	0,0	2,4	11,9	0,0	1,0
0830	72,4	8,2	2,7	11,0	0,0	1,3
0831	77,1	4,1	0,9	13,1	0,0	1,0
0904	81,2	1,2	0,9	13,2	0,0	1,6
0910	77,9	0,1	2,4	11,9	0,0	1,3
0915	79,7	0,5	2,6	11,5	0,0	1,2
0917	74,6	5,5	0,6	13,2	0,0	1,8
0922	81,5	0,4	0,8	11,8	0,0	1,3
0923	69,4	8,8	1,7	12,4	0,0	2,6
0925	71,7	7,3	1,1	13,9	0,0	1,1
media	75,53	4,81	1,66	12,35	0,07	1,27
d. s.	4,46	3,60	1,17	0,84	0,30	0,44

TABLA XXIV

Composición mineralógica potencial correspondiente a muestras con marga de Lloseta.

Muestra	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	C <sub>2</sub> F	CaO libre
153	63,1	12,5	11,5	8,1	--	0,63
156	56,8	17,3	12,5	8,5	--	0,81
168	56,7	17,7	11,7	7,9	--	1,53
169	55,1	18,8	12,1	8,2	--	1,17
170	57,4	16,3	12,3	7,9	--	1,53
171	57,6	17,3	11,4	7,9	--	1,20
179	58,0	16,7	10,7	8,6	--	1,47
181	55,6	19,7	10,8	8,1	--	1,17
182	61,5	13,9	11,7	7,9	--	0,90
183	55,2	19,2	11,4	8,0	--	1,53
184	60,2	15,3	11,4	7,9	--	1,17
186	55,9	19,6	11,0	8,0	--	0,99
187	58,6	16,5	11,2	8,0	--	1,08
188	59,2	15,1	11,2	8,5	--	1,35
189	61,2	13,5	10,3	7,9	--	1,26
190	62,6	13,3	10,2	8,0	--	1,08
191	58,0	16,2	11,6	8,1	--	1,26
193	57,3	18,3	11,0	8,0	--	0,90
195	58,0	16,4	11,7	7,9	--	1,26
196	61,5	13,6	10,9	7,9	--	0,90
197	58,3	16,3	11,8	7,9	--	0,81
198	57,4	18,0	11,7	7,6	--	0,90
199	54,8	20,4	11,7	7,6	--	1,08
202	57,4	17,7	11,7	7,7	--	0,90
203	57,2	17,6	12,0	7,9	--	0,76
207	54,2	20,4	11,5	7,9	--	1,08
209	54,9	19,4	11,6	8,1	--	1,26
210	63,9	11,7	10,5	8,1	--	0,63
211	57,4	16,6	11,9	8,0	--	1,44
media	58,1	16,73	11,41	8,0	--	1,10
d. s.	0,26	0,23	0,56	0,23	--	0,26

De acuerdo con los datos incluidos en las tablas XIX a XXIV el contenido potencial medio de  $C_3S$  en clinkers de la serie Alcalá de Guadaira-Morón de la Frontera sería del orden del 75%, bastante superior al 58% correspondiente a muestras con marga de LLoseta. El contenido de  $C_2S$  es, por el contrario, tres veces superior en estas últimas.

El  $C_3A$  está ausente en muestras que contienen sólo marga de Alcalá de Guadaira y presente sólo en pequeñas proporciones en las mezclas de Alcalá de Guadaira-Morón de la Frontera, no rebasando el 3%. En cambio, en los clinkers con marga de Lloseta el  $C_3A$  se encuentra en torno al 11%.

En lo que se refiere al  $C_4AF$  su porcentaje medio oscila desde un 10% en muestras con marga de Alcalá de Guadaira a un 13-14% en muestras de la serie Alcalá de Guadaira-Morón de la Frontera. En muestras de LLoseta el contenido de  $C_4AF$  es prácticamente constante e igual al 8%.

El contenido de  $C_2F$  en la serie Alcalá de Guadaira-Morón de la Frontera disminuye desde el 4% a aproximadamente cero cuando el porcentaje de marga de Morón de la Frontera es del 50% del total de marga. En muestras con marga de LLoseta el contenido de  $C_2F$  es nulo.

El contenido de cal libre se sitúa en torno al 2% y es independiente del tipo de marga empleado.

En la figura 23 se representan los contenidos mineralógicos potenciales de los clinkers en función del tipo de marga empleado.

En las tablas XXV a la XXX se indican el módulo de silicatos (MS), el de fundentes (MF), el estándar de cal (SC), el factor de cocibilidad (FC) y la superficie específica Blaine obtenidos según se ha descrito anteriormente.

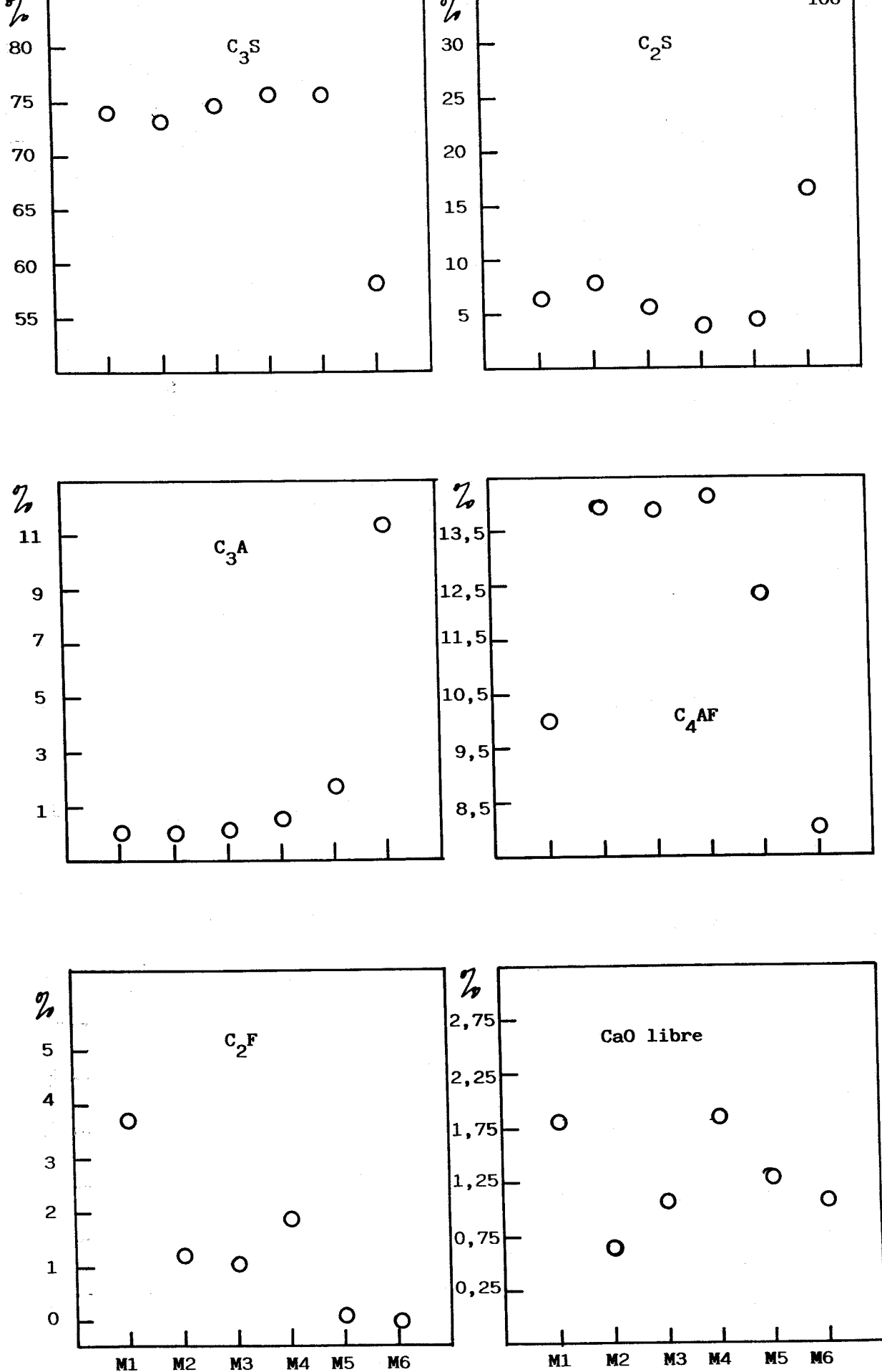


Fig. 23 Porcentajes medios mineralógicos en el clinker en función de las distintas margas empleadas. M1=100% de Alcalá de Guadaíra, M2=85% de A. de G. y 15% de Morón de la Frontera, M3=75% de A. de G. y 25% de M. de la F., M4=67% de A. de G. y 33% de M. de la F., M5=50% de A. de G. y 50% de M. de la F., M6=marga de Lloseta.



TABLA XXV

Indices y superficie específica de las muestras correspondientes a un 100% de marga de Alcalá de Guadaíra del total de marga.

Muestra	MS	MF	SC	FC	S. Blaine (cm <sup>2</sup> /g)
0114	2,71	0,43	95,81	120	3428
0115	2,94	0,38	98,50	125	3598
0116	2,92	0,28	102,18	128	3616
0117	2,86	0,28	101,59	127	3480
0118	2,83	0,36	101,10	126	3659
0119	2,92	0,34	100,59	127	3567
0120	2,98	0,35	100,74	128	3668
0125	2,68	0,35	101,71	125	3532
0126	3,01	0,31	100,63	128	3584
0127	2,85	0,39	99,79	125	3515
0128	2,70	0,36	98,55	123	3682
0129	2,64	0,32	103,87	127	3651
0203	2,80	0,52	98,29	123	3699
0204	2,77	0,41	100,25	125	3515
0205	2,86	0,41	99,69	125	3550
0206	2,80	0,42	99,10	124	3410
0207	2,83	0,37	98,75	124	3410
0208	2,91	0,37	98,42	125	3550
0209	2,98	0,38	100,97	128	3445
0210	2,72	0,44	98,77	123	3480
0211	2,61	0,39	99,00	122	3532
0214	2,83	0,41	99,31	124	3410
0215	2,83	0,41	99,31	124	3699
0216	2,77	0,35	99,24	124	3410
0217	2,93	0,37	99,60	126	3584
0218	2,75	0,37	97,25	122	3410
0219	2,83	0,35	99,88	125	3515
0223	2,85	0,37	99,39	125	3598
0224	2,75	0,33	99,99	124	3532
0225	3,00	0,38	98,02	125	3410
0226	3,33	0,48	99,37	129	3410
0301	3,19	0,48	97,48	126	3410
0302	3,30	0,46	96,00	126	3497
0306	3,06	0,45	98,19	126	3497
media	2,86	0,37	99,45	125	3528
d.s.	0,16	0,05	1,65	1,98	94

TABLA XXVI

Indices y superficie específica correspondientes a las muestras con un 85% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 15% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestra	MS	MF	SC	FC	S. Blaine (cm <sup>2</sup> /g)
0426	2,62	0,55	97,47	121	3515
0427	2,72	0,57	97,15	120	3515
media	2,67	0,56	97,31	120	3515
d.s.	0,07	0,01	0,22	0,7	0

TABLA XXVII

Indices y superficie especifica correspondientes a las muestras con un 75% de marga de Alcalà de Guadaira y un 25% de marga de Moròn de la Frontera del total de marga.

Muestra	MS	MF	SC	FC	S.Blaine (cm <sup>2</sup> /g)
0406	2,35	0,48	97,90	118	3515
0407	2,44	0,58	98,36	120	3515
0408	2,62	0,57	98,04	121	3497
0409	2,70	0,48	100,34	124	3567
0410	2,45	0,59	101,66	123	3616
0411	3,02	0,65	98,45	125	3567
0412	3,02	0,65	98,45	125	3584
media	2,65	0,57	99,02	122	3551
d.s.	0,27	0,07	1,41	2,69	47

TABLA XXVIII

Indices y superficie especifica correspondientes a las muestras con un 67% de marga de Alcalà de Guadaira y un 33% de marga de Moròn de la Frontera del total de marga.

Muestra	MS	MF	SC	FC	S.Blaine (cm <sup>2</sup> /g)
0418	2,70	0,72	98,07	122	3717
0419	2,70	0,72	98,07	122	3688
0421	2,48	0,59	103,69	125	3705
0422	2,50	0,63	101,53	124	3682
0423	2,69	0,69	95,81	120	3584
0424	2,98	0,69	99,09	126	3633
0425	2,93	0,63	98,74	125	3717
0927	2,61	0,56	101,74	125	3532
0930	2,50	0,61	104,08	126	3480
1007	2,40	0,69	102,82	124	3717
1008	2,46	0,67	101,41	123	3779
1009	2,44	0,71	105,46	125	3550
1016	2,53	0,64	99,11	121	3765
1017	2,53	0,66	103,48	126	3480
1018	2,54	0,63	103,36	128	3550
1019	2,57	0,68	104,43	127	3598
1020	2,50	0,76	104,93	127	3445
1023	2,59	0,58	103,55	126	3550
1027	2,80	0,54	101,09	126	3480
1029	2,87	0,61	100,66	126	3480
1030	2,73	0,64	100,63	125	3480
1031	2,61	0,69	99,37	122	3532
1101	2,62	0,67	101,62	125	3633
media	2,62	0,66	101,42	124	3599
d.s.	0,15	0,06	2,54	2,06	104

TABLA XXIX

Indices y superficie especifica correspondientes a las muestras con un 50% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 50% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestra	MS	MF	SC	FC	S. Blaine (cm <sup>2</sup> /g)
0318	2,87	0,77	100,0	126	3515
0319	2,78	0,98	99,65	124	3682
0321	2,57	1,01	96,79	119	3410
0322	3,05	0,95	100,27	128	3598
0323	2,84	0,54	97,52	123	3668
0812	2,91	0,69	99,36	125	3828
0817	3,27	0,75	98,42	128	3616
0819	3,22	0,68	101,07	130	3859
0821	2,88	0,87	102,28	128	3532
0830	3,13	0,93	98,86	127	3376
0831	3,04	0,78	100,12	128	3568
0904	2,81	0,72	103,37	128	3699
0910	2,85	0,87	102,81	128	3717
0915	2,94	0,90	102,42	129	3616
0917	2,94	0,69	100,21	127	3668
0922	3,18	0,72	102,45	131	3651
0923	2,90	0,79	100,15	126	3699
0925	2,74	0,71	98,76	123	3567
media	2,94	0,79	100,25	126	3626
d.s.	0,18	0,12	1,86	2,89	123

TABLA XXX

Indices y superficie especifica de las muestras con marga de Lloseta.

Muestra	MS	MF	SC	FC	S. Blaine (cm <sup>2</sup> /g)
153	2,40	2,26	99,40	116,6	4285
156	2,25	2,33	98,10	114,2	4205
168	2,43	2,33	98,70	115,8	4258
169	2,33	2,32	97,70	114,1	4311
170	2,33	2,43	99,50	116,3	4363
171	2,47	2,29	98,30	116,5	4363
179	2,42	2,07	98,80	116,5	4311
181	2,53	2,17	96,90	111,7	3983
182	2,42	2,33	99,30	117,7	3983
183	2,45	2,27	97,80	115,9	4311
184	2,47	2,29	98,90	117,2	3983
186	2,53	2,22	96,80	115,6	3987
187	2,47	2,24	98,50	116,6	4689
188	2,36	2,15	99,50	116,7	4258
189	2,55	2,13	100,3	119,2	5215
190	2,57	2,11	99,80	119,3	5215
191	2,39	2,27	99,10	116,5	5428
193	2,53	2,21	97,30	116,2	5466
195	2,42	2,33	99,10	117,0	4808
196	2,49	2,23	99,80	118,5	4415
197	2,41	2,35	98,50	116,3	4279
198	2,50	2,39	97,70	116,8	4363
199	2,52	2,39	96,90	116,6	4011
202	2,47	2,37	97,90	116,0	4389
203	2,40	2,39	97,70	115,4	4205
207	2,48	2,31	96,80	115,2	4205
209	2,42	2,27	97,60	115,2	4168
210	2,49	2,13	99,90	118,2	4205
211	2,36	2,35	99,00	116,4	4258
media	2,44	2,27	98,43	116,3	4411
d.s.	0,07	0,09	1,02	1,72	419

De acuerdo con los datos incluidos en las tablas XXV a XXX el módulo de silicatos está en torno a 3 en muestras con margas de Alcalá de Guadaíra-Morón de la Frontera, y algo más bajo, 2,5, en muestras con marga de Lloseta.

El módulo de fundentes aumenta con el contenido de marga de Morón de la Frontera en la serie Alcalá de Guadaíra-Morón de la Frontera, oscilando entre el 0,4 y 0,75, siendo sensiblemente mayor, 2,3, en muestras con marga de Lloseta.

El estándar de cal se sitúa en torno a 100 con independencia de la marga empleada en la preparación del clinker.

El factor de cocibilidad está próximo a 125 en muestras de la serie Alcalá de Guadaíra-Morón de la Frontera y cercano a 116 en muestras de Lloseta.

La superficie específica media es sensiblemente mayor en clinkers que han empleado marga de Lloseta.

En la figura 24 se representan los módulos, estándar de cal, factor de cocibilidad y superficie específica en función del tipo de marga empleado.

Las figuras 25 a la 57 y 58 a la 82 muestran las difracciones de rayos X correspondientes a los planos (021) y (220), respectivamente, del  $C_3S$ .

En las tablas XXXI a la XXXVI se recogen los tamaños cristalinos ( $T_v$ , en Å) y contenido de microtensiones ( $M_v$ , multiplicado por  $10^6$ ) del  $C_3S$  según los planos (021) y (220) obtenidos según el procedimiento de la varianza. Se incluyen asimismo los valores de los tamaños cristalinos obtenidos por el procedimiento de Scherrer ( $T_s$ , en Å).

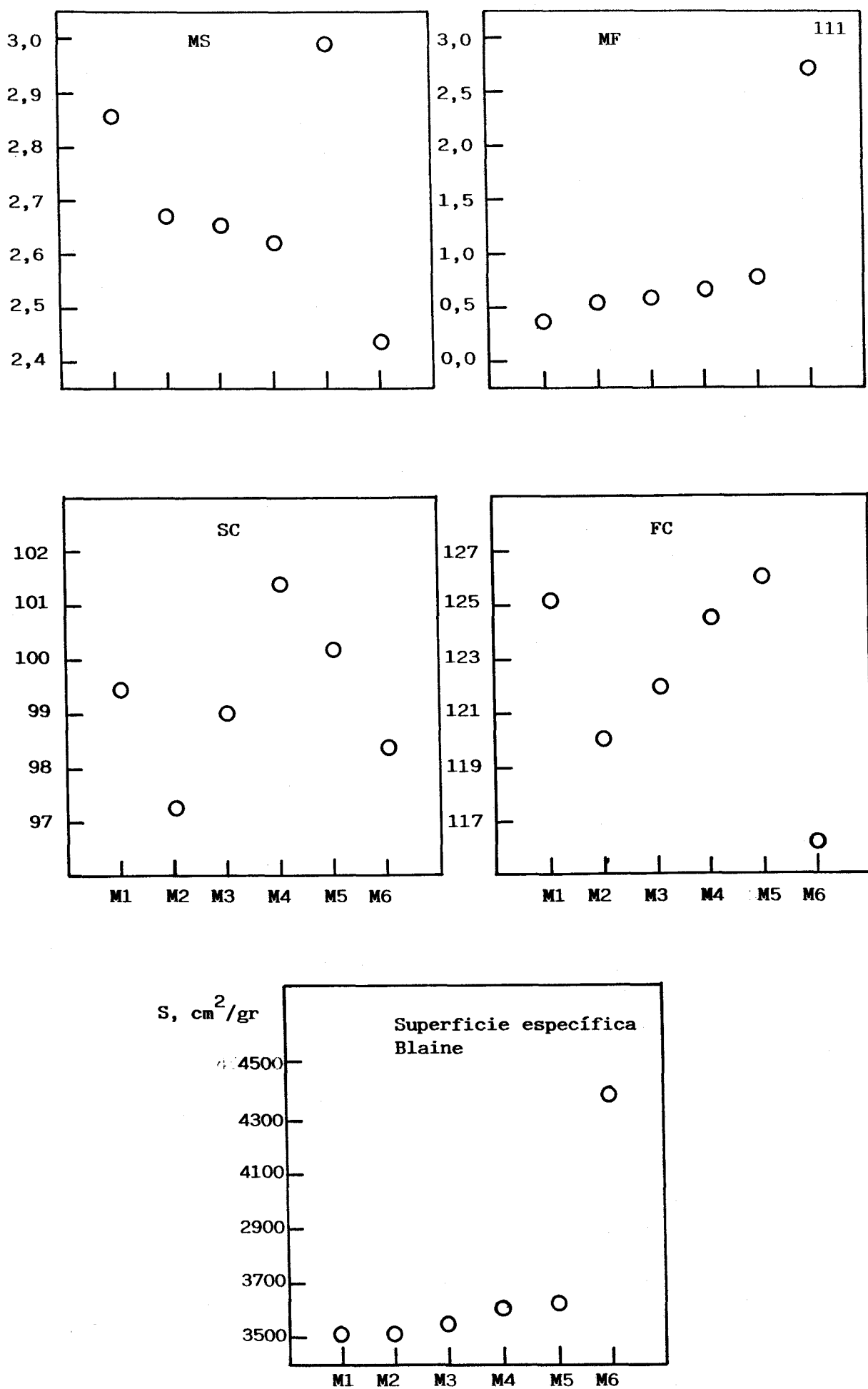


Fig. 24 Módulos y S. específica medios del clinker en función de las distintas margas empleadas. M1=100% de Alcalá de Guadaíra, M2=85% de A. de G. y 15% de Morón de la Frontera, M3=75% de A. de G. y 25% de M. de la F., M4=67% de A. de G. y 33% de M. de la F., M5=50% de A. de G. y 50% de M. de la F., M6=marga de Lloseta.

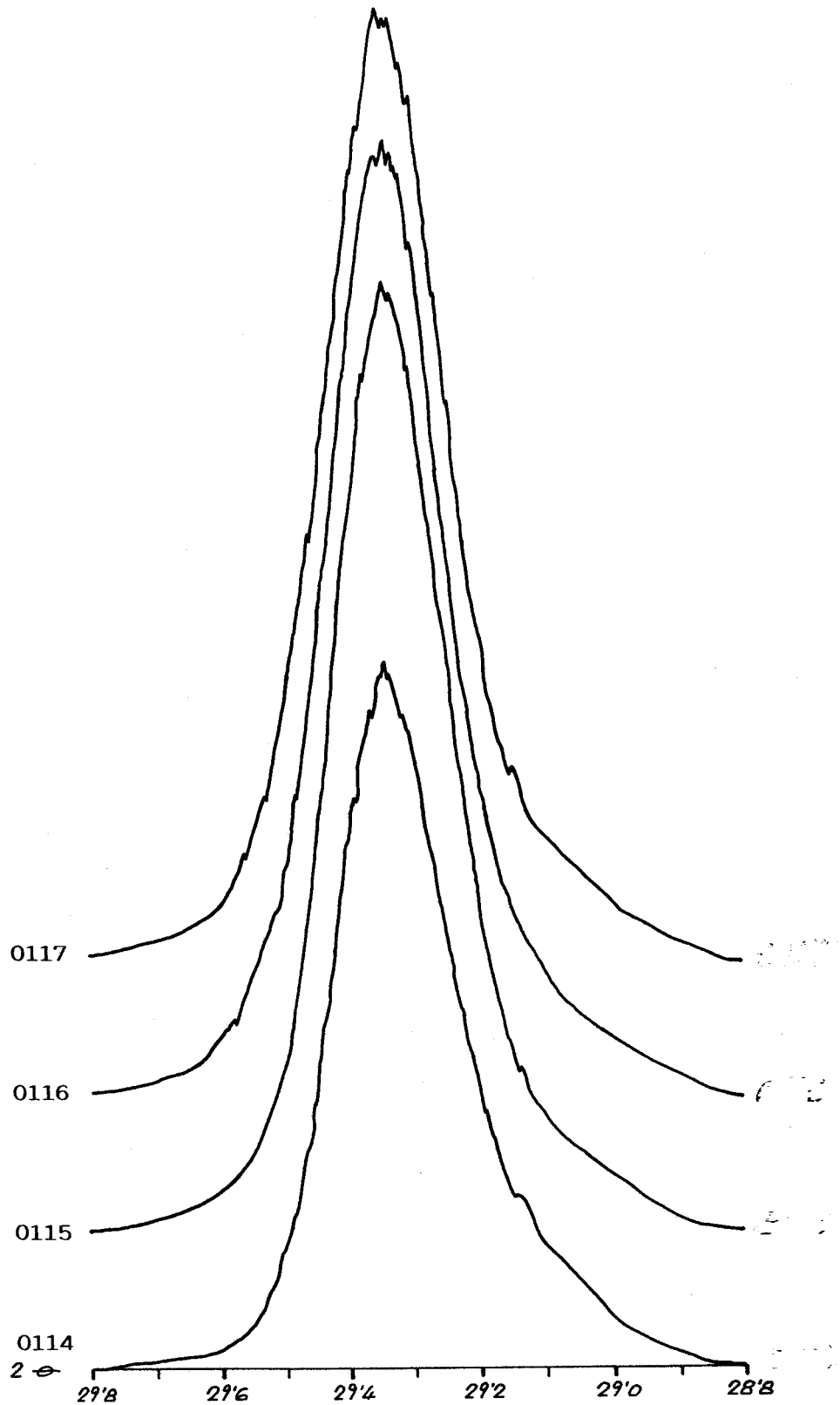


Fig. 25 Pico de DRX del plano (021) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkerres

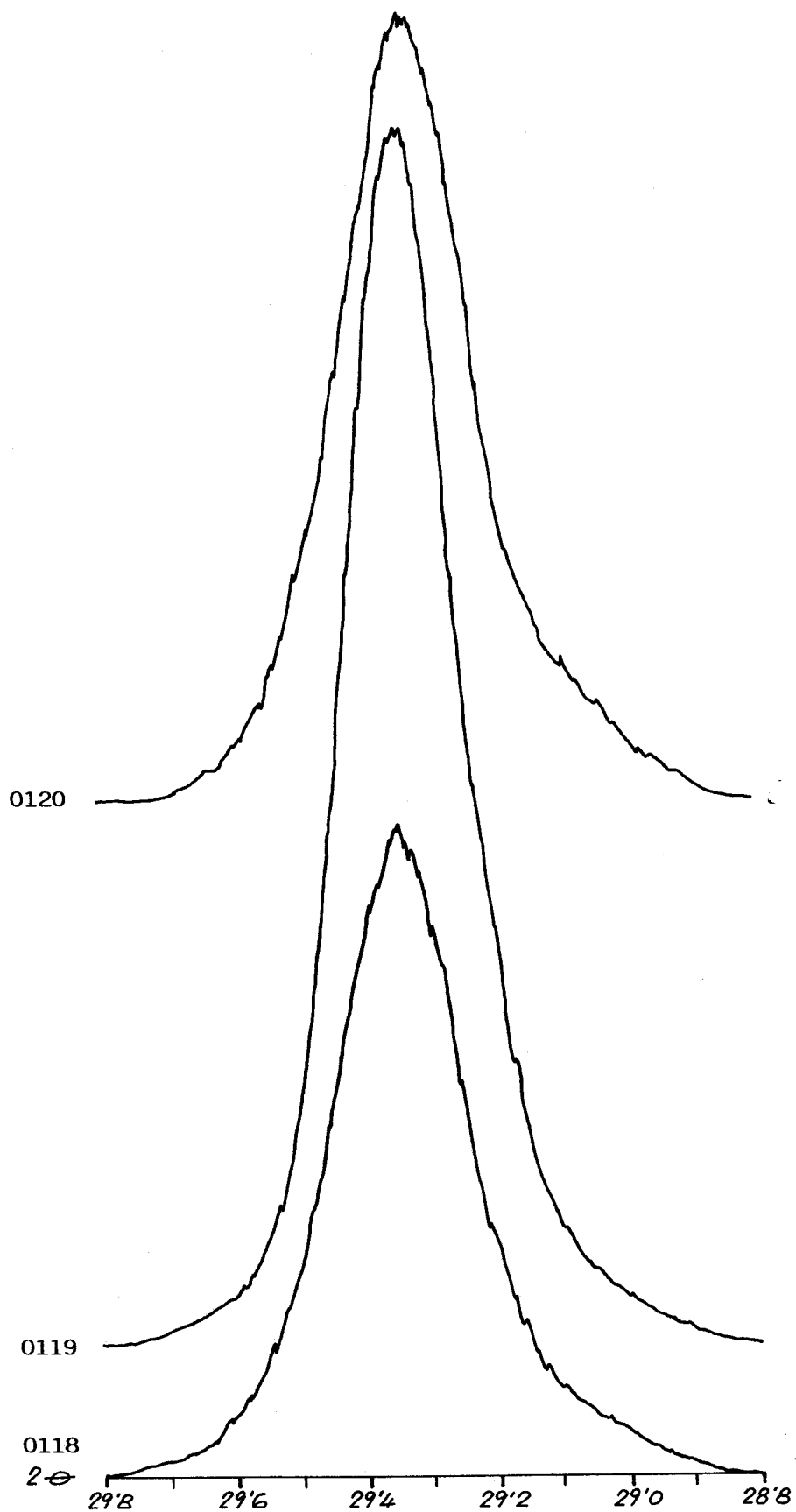


Fig. 26 Pico de DRX del plano (021) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres

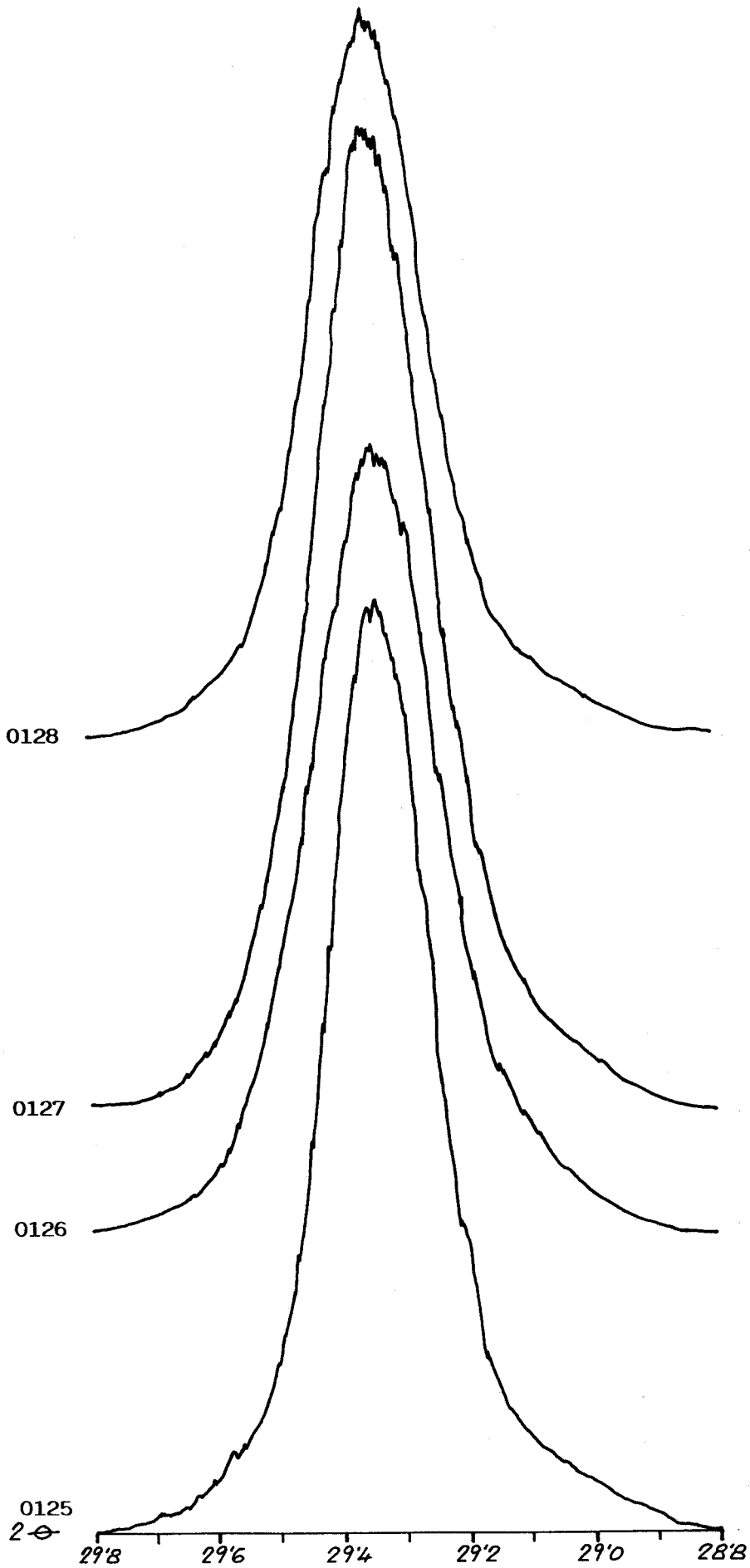


Fig. 27 Pico de DRX del plano (021) del  $C_3S$  de diversos clinkeres



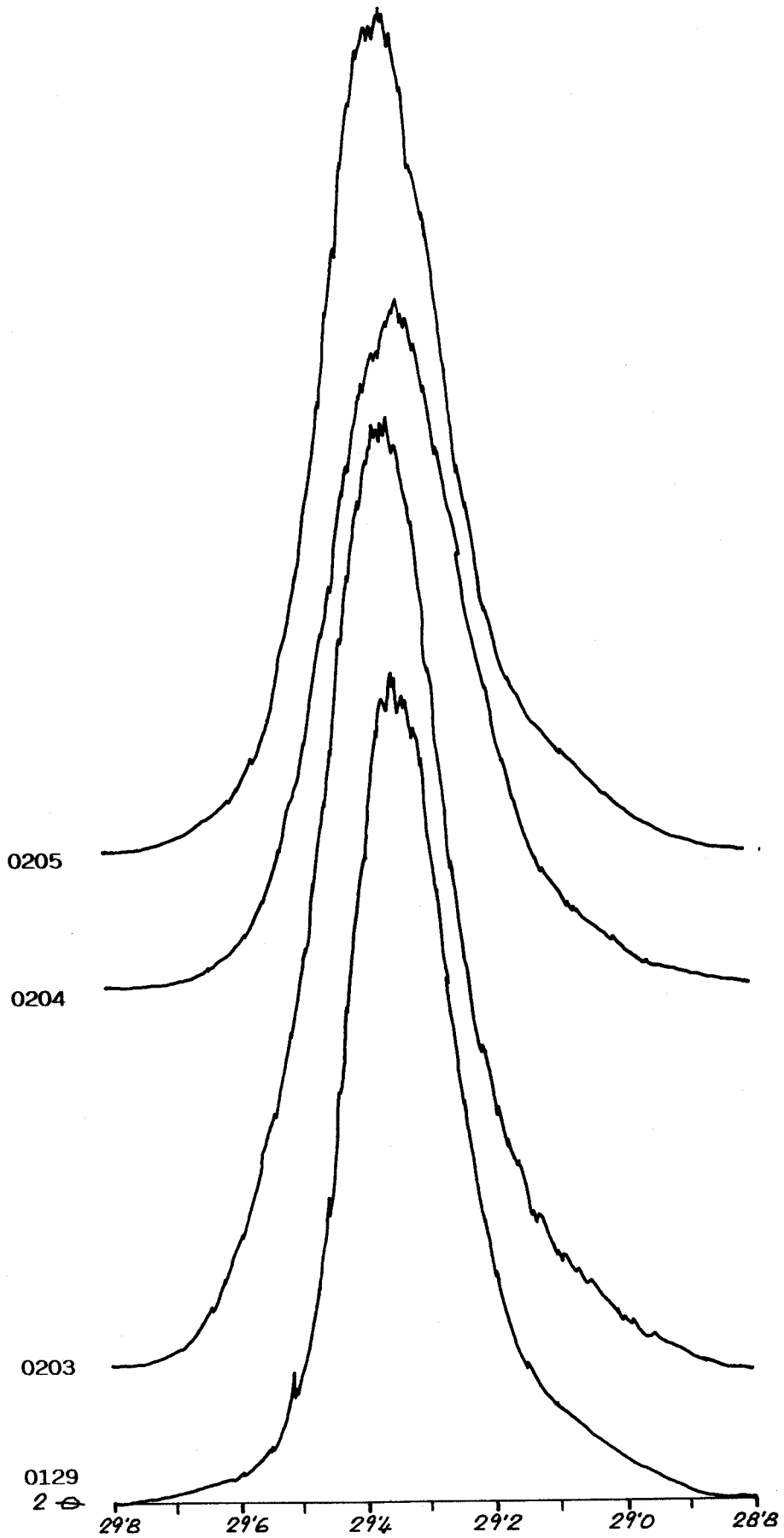


Fig. 28 Pico de DRX del plano (021) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkereres

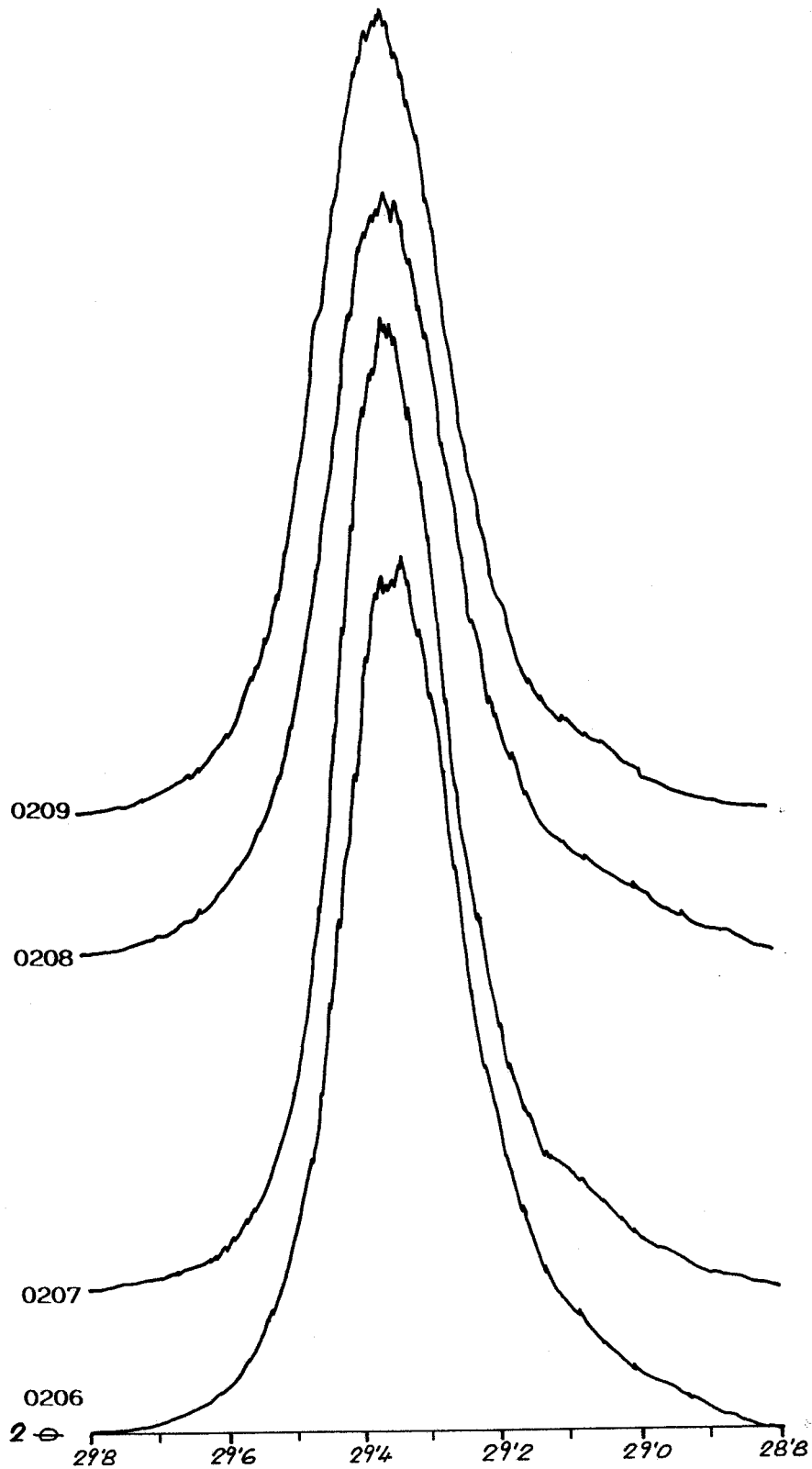


Fig. 29 Pico de DRX del plano (021) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkerres

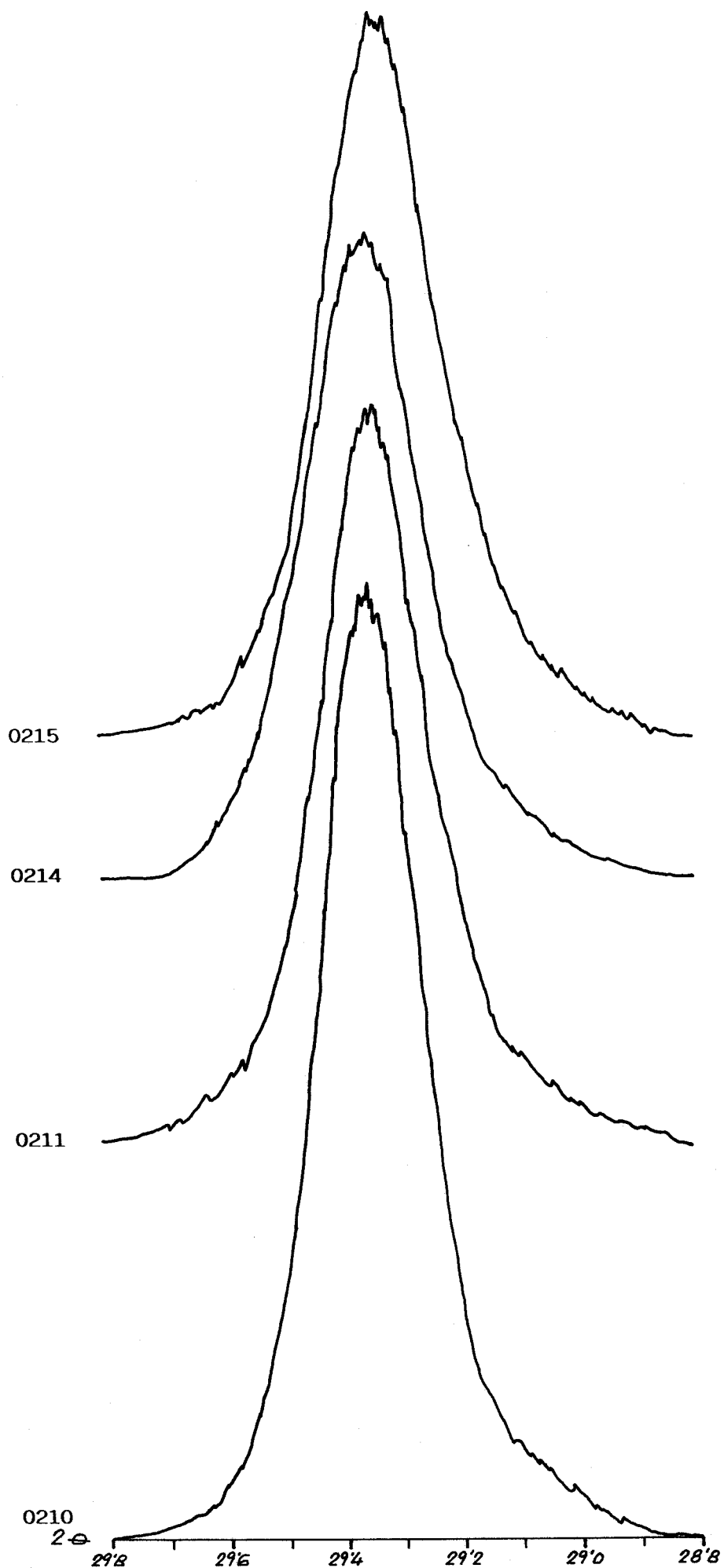


Fig. 30 Pico de DRX del plano (021) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

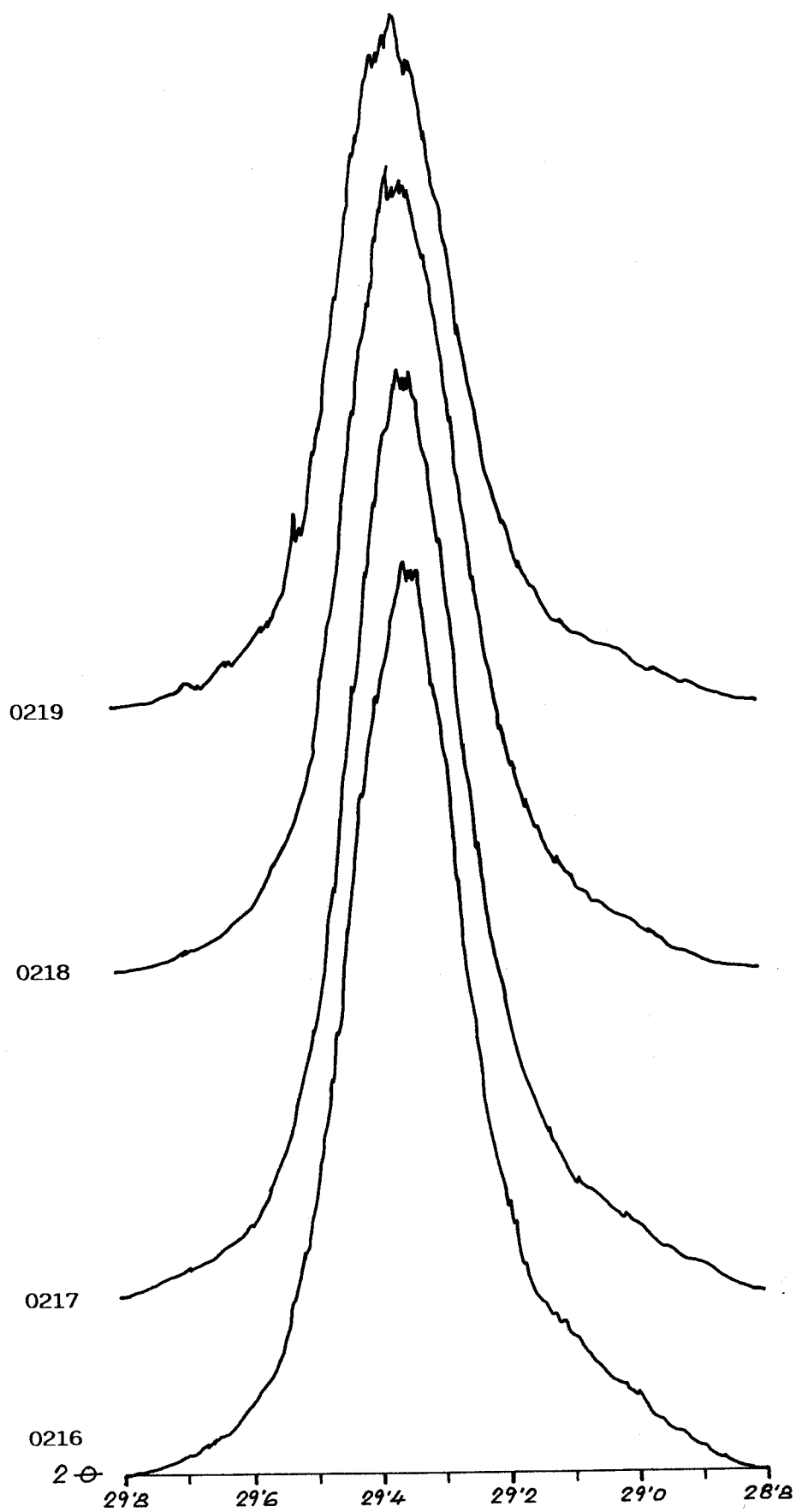


Fig. 31 Pico de DRX del plano (021) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkerres

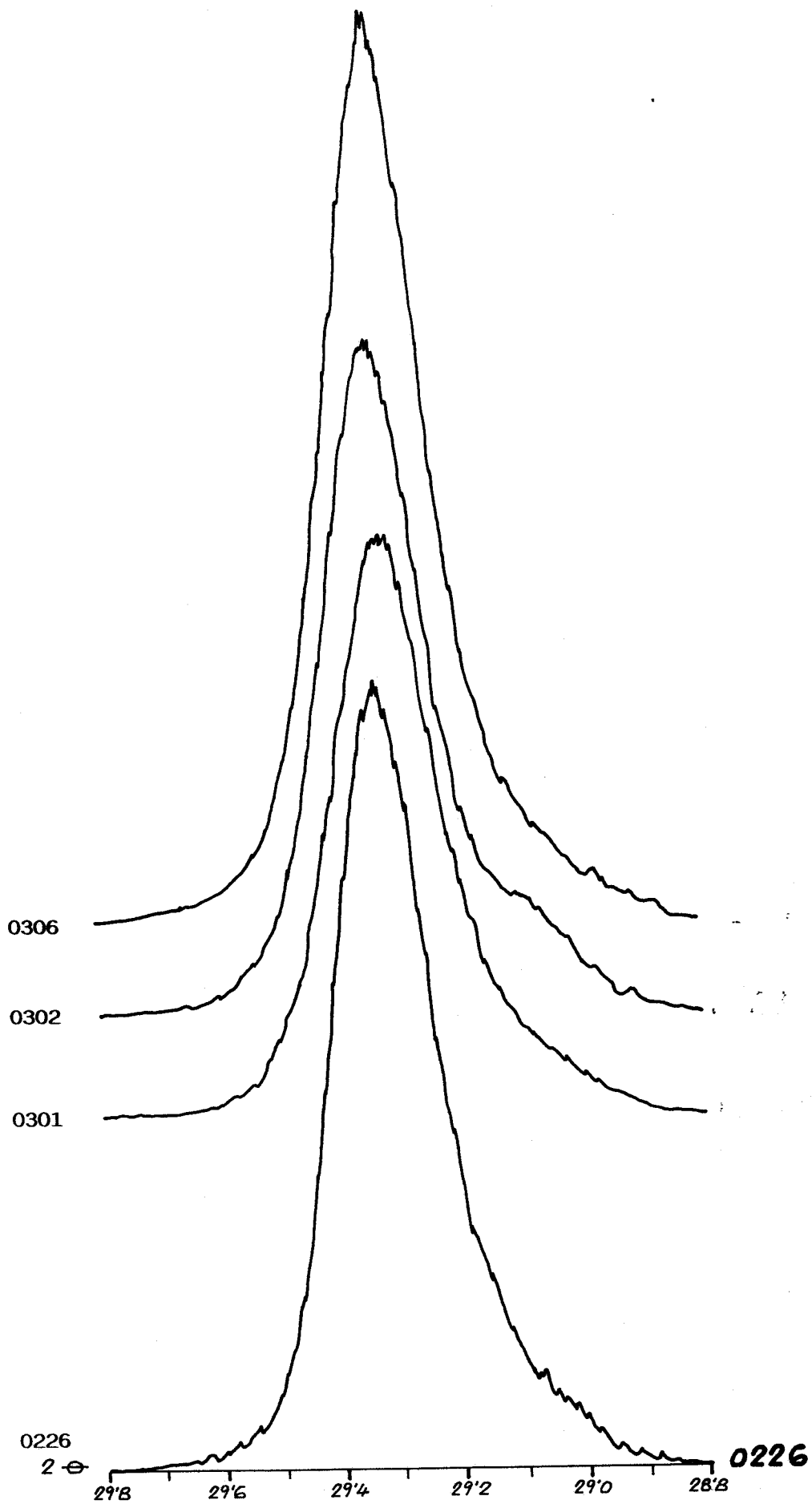


Fig. 33 Pico de DRX del plano (021) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres

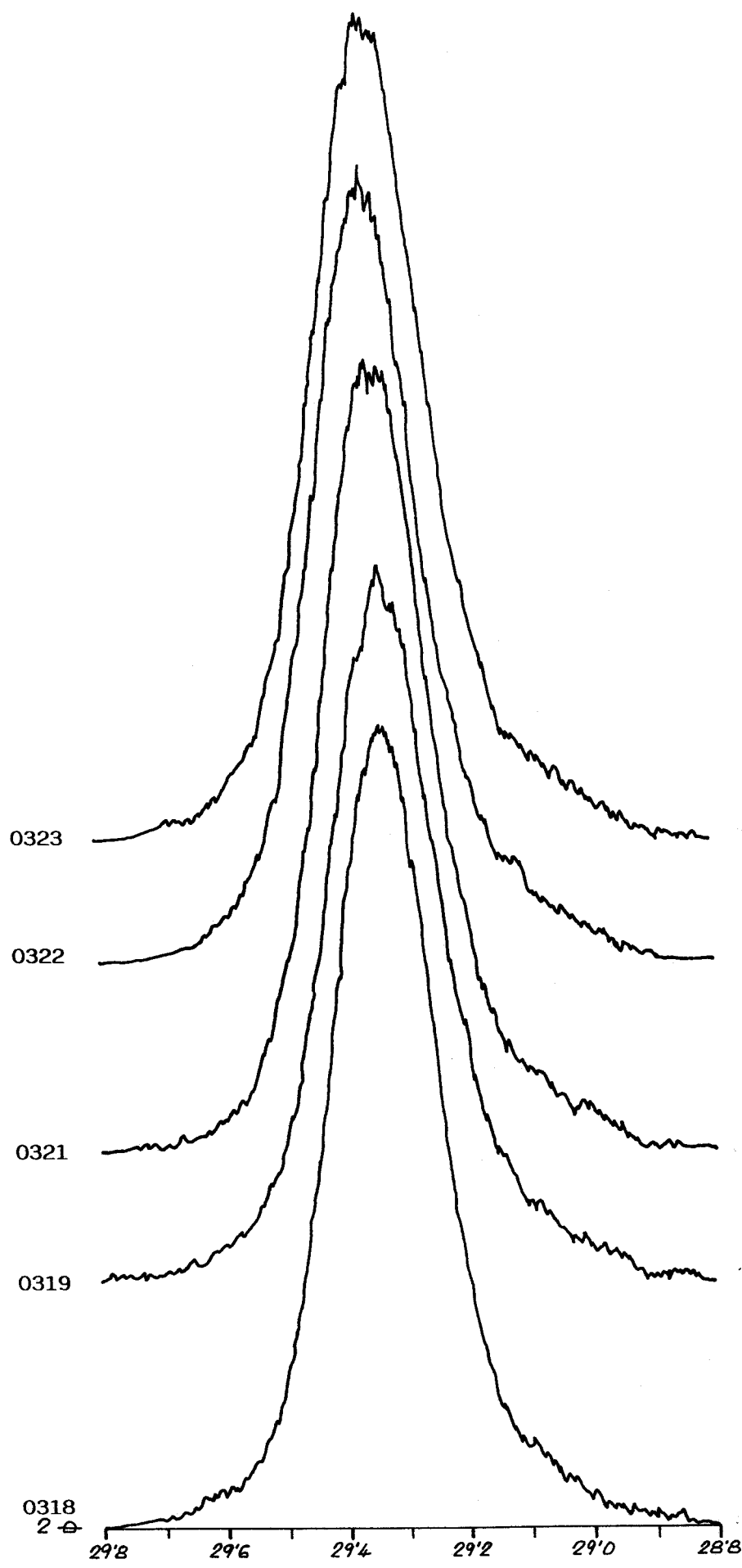


Fig. 34 Pico de DRX del plano (021) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres

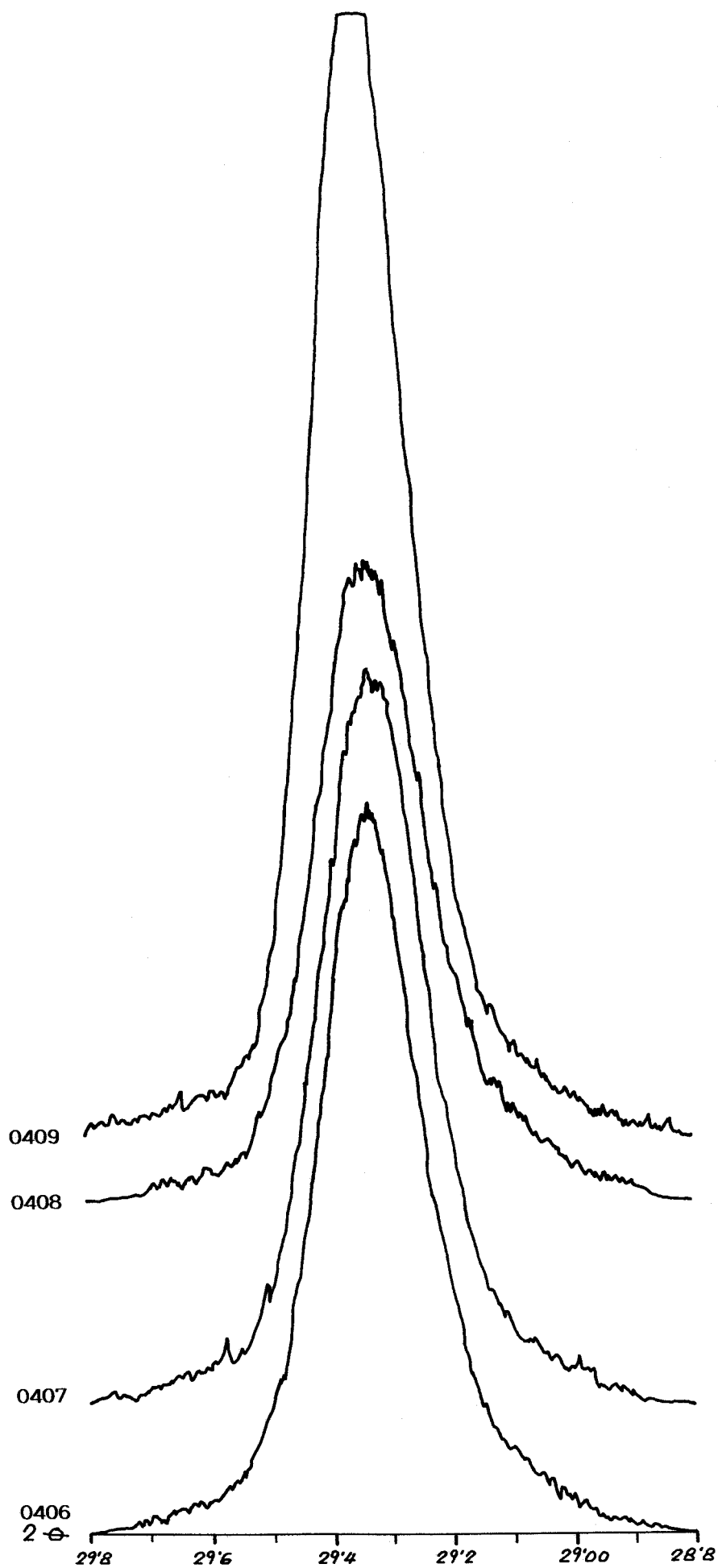


Fig. 35 Pico de DRX del plano (021) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

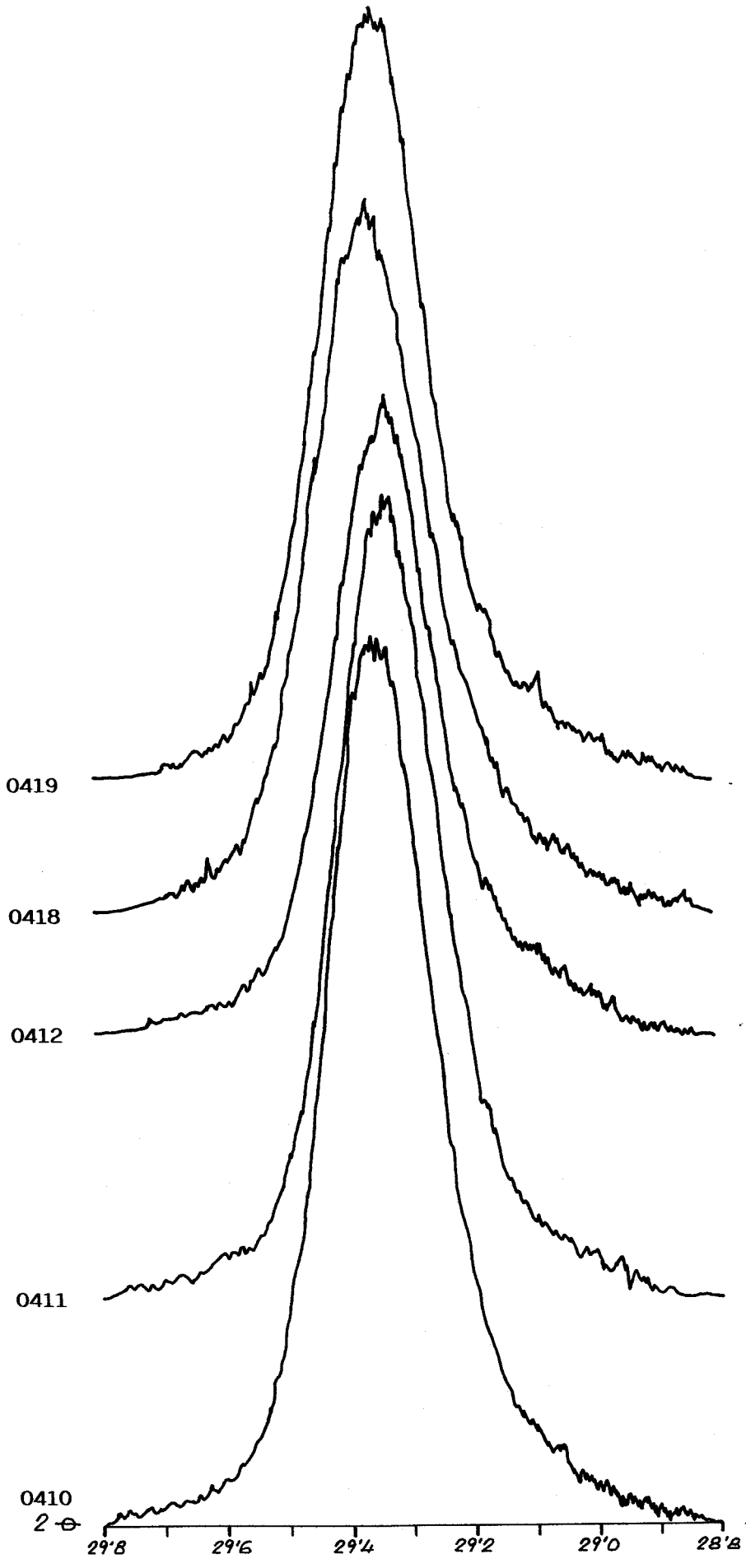


Fig. 36 Pico de DRX del plano (021) del CaS de diversos clinkereres



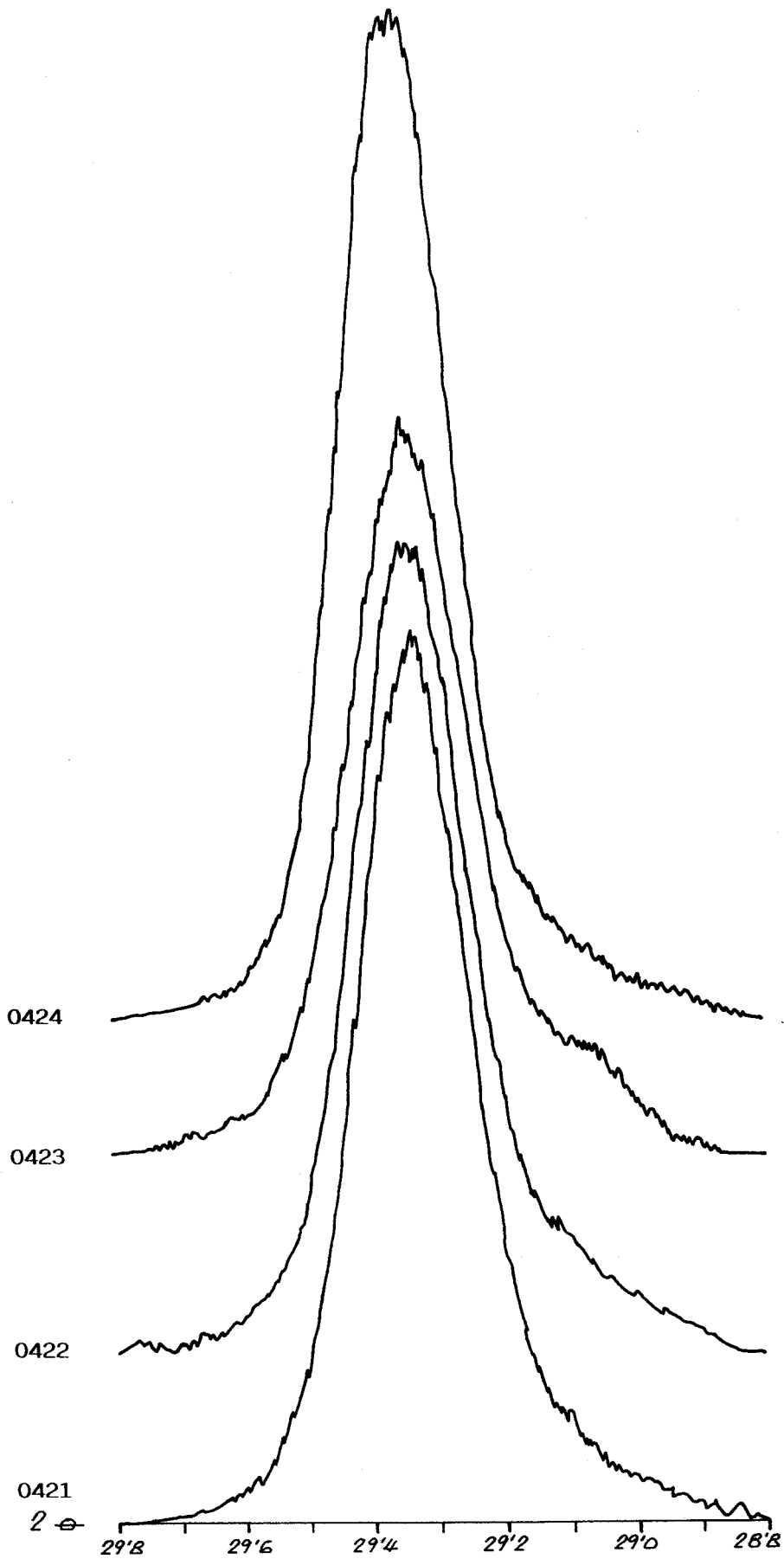


Fig. 37 Pico de DRX del plano (021) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

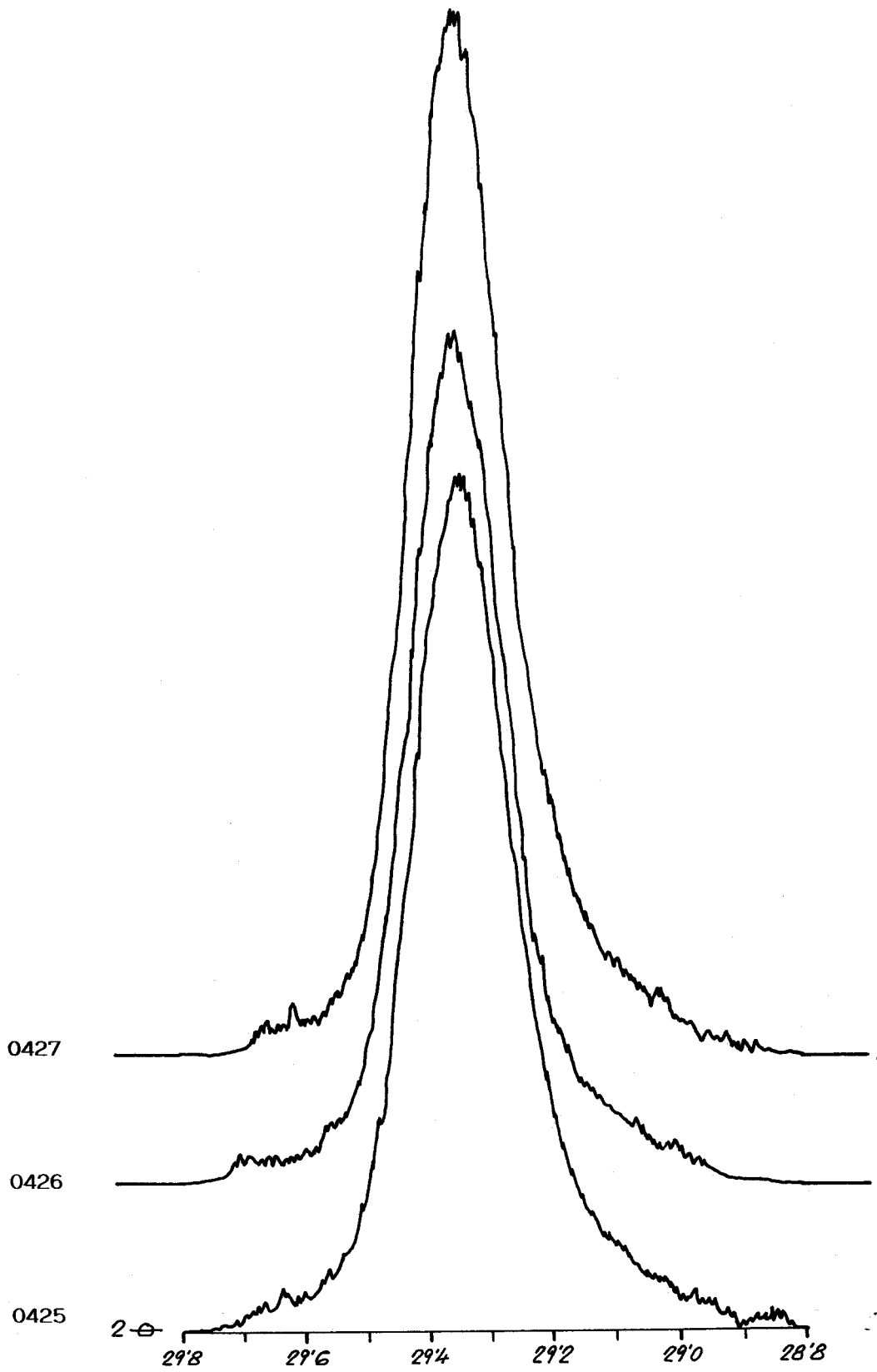


Fig. 38 Pico de DRX del plano (021) del  $C_3S$  de diversos clinkerés

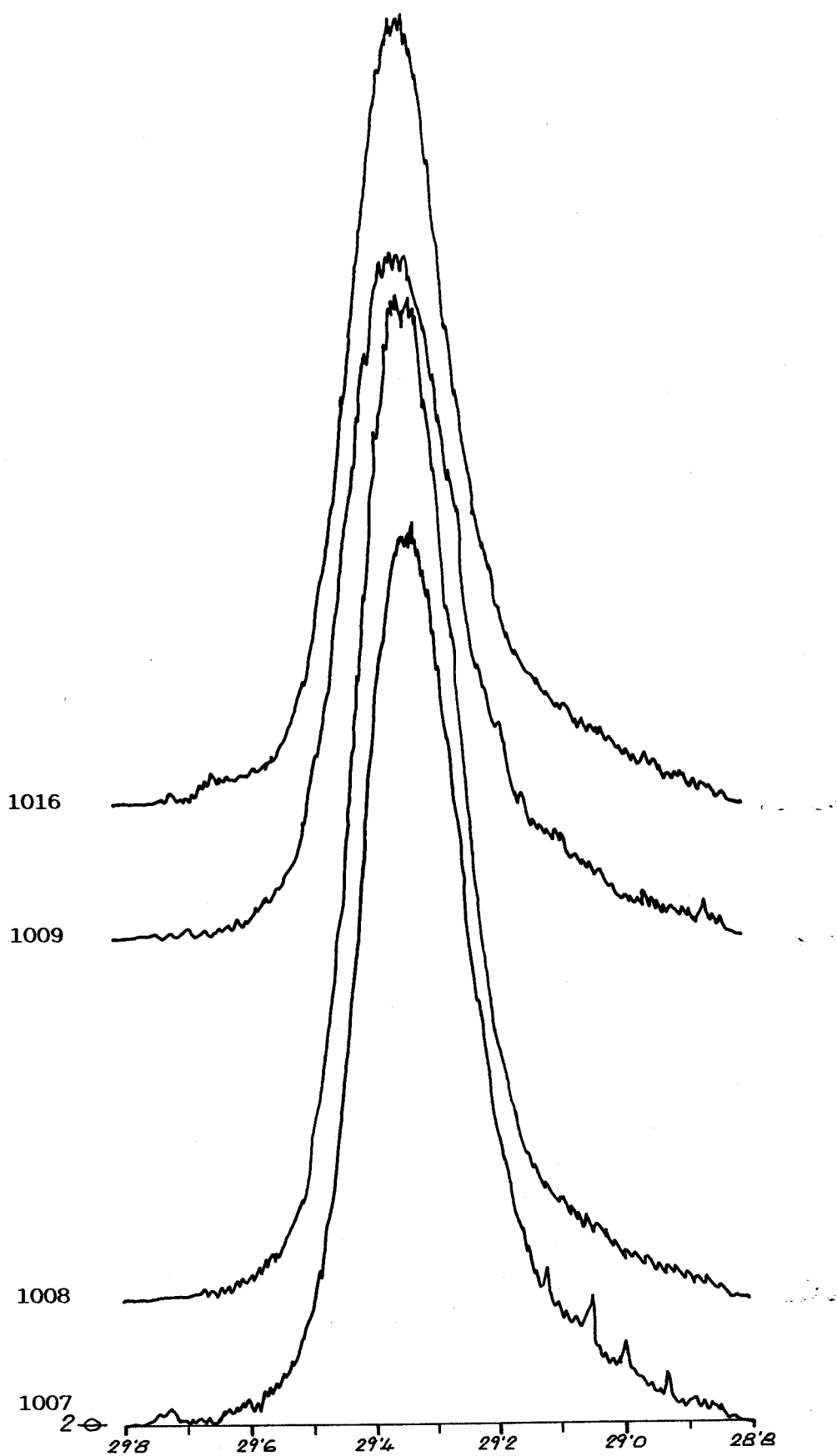


Fig. 39 Pico de DRX del plano (021) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

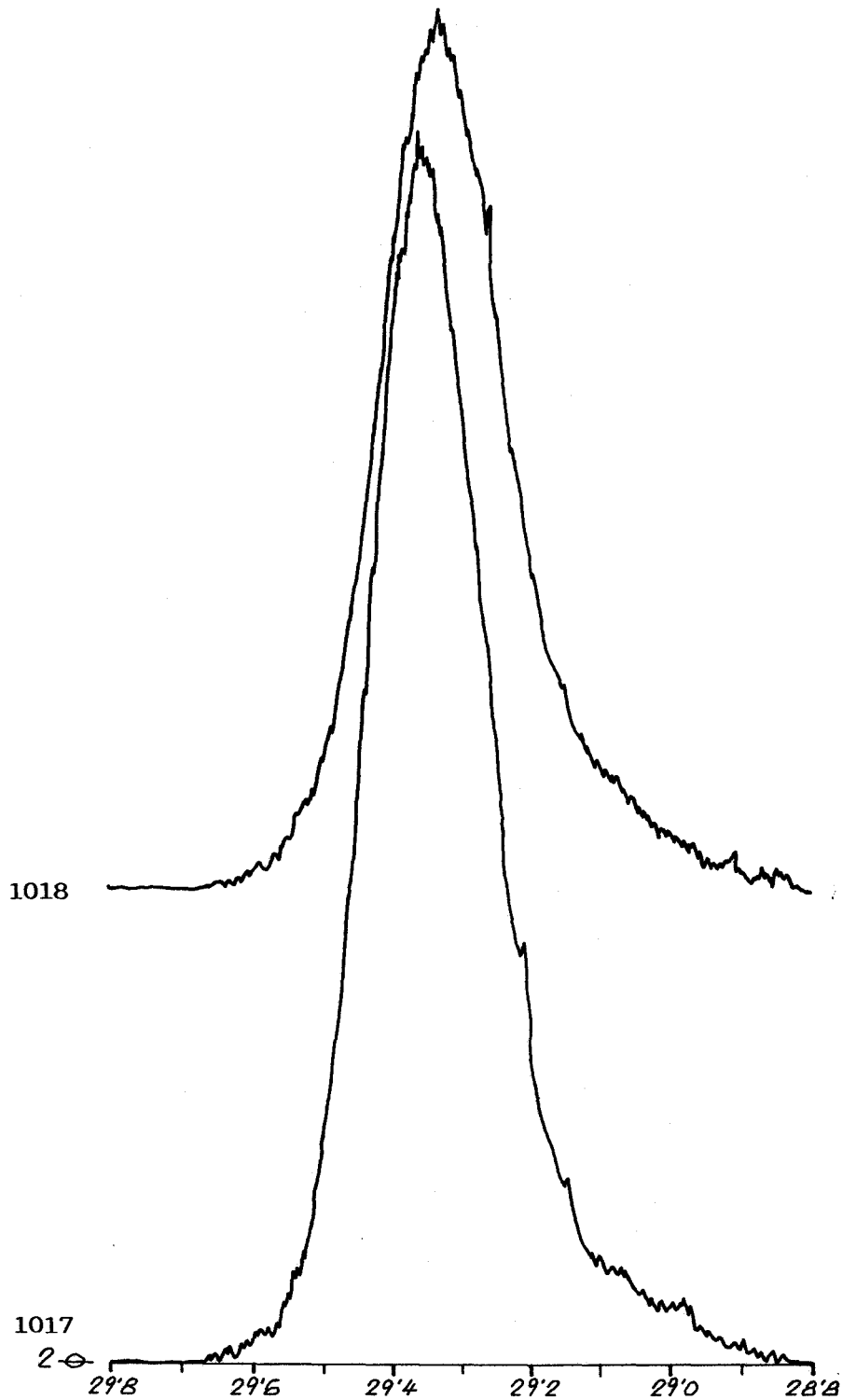


Fig. 40 Pico de DRX del plano (021) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkerres

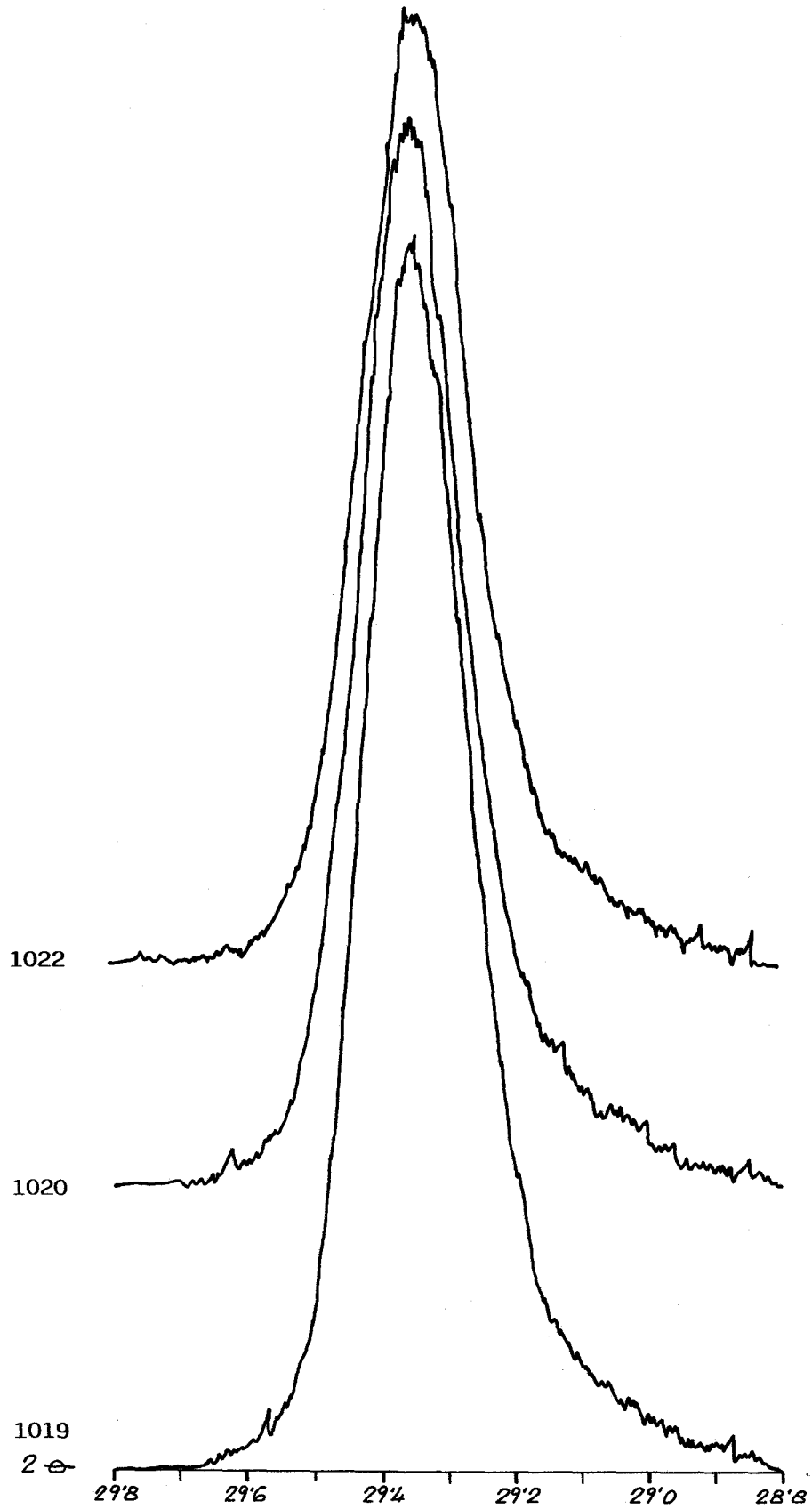


Fig. 41 Pico de DRX del plano (021) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres

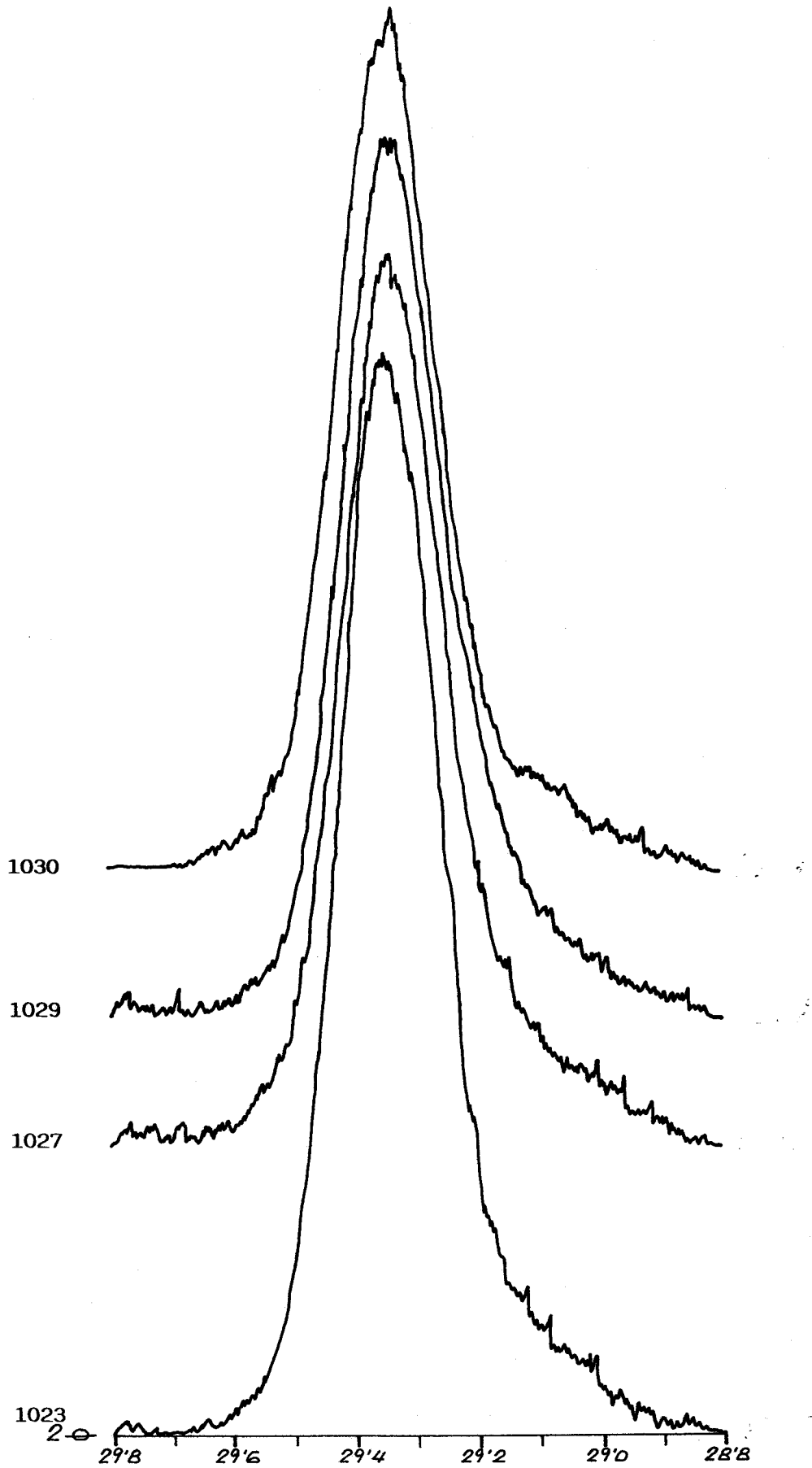


Fig. 42 Pico de DRX del plano (021) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

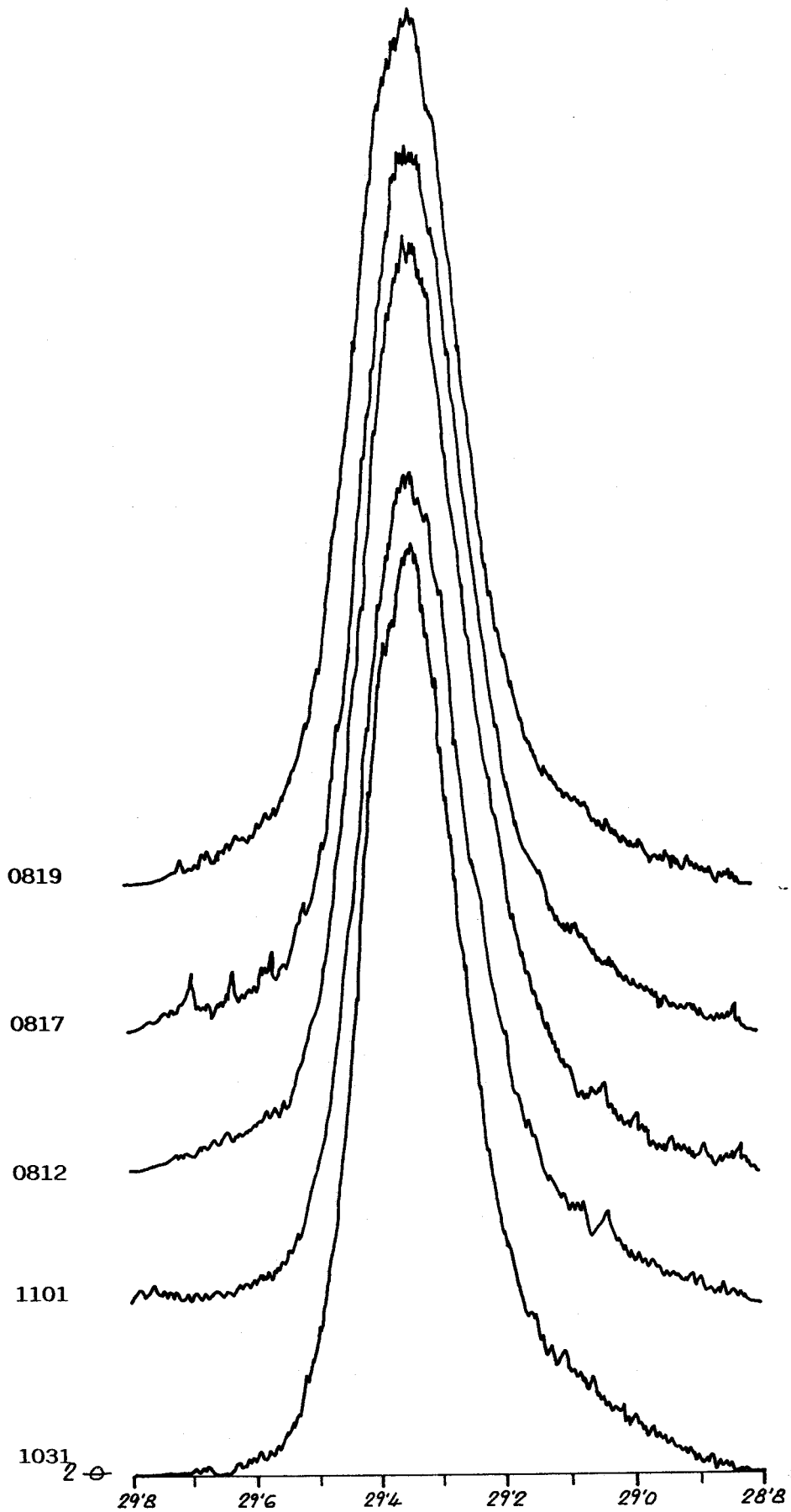


Fig. 43 Pico de DRX del plano (021) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

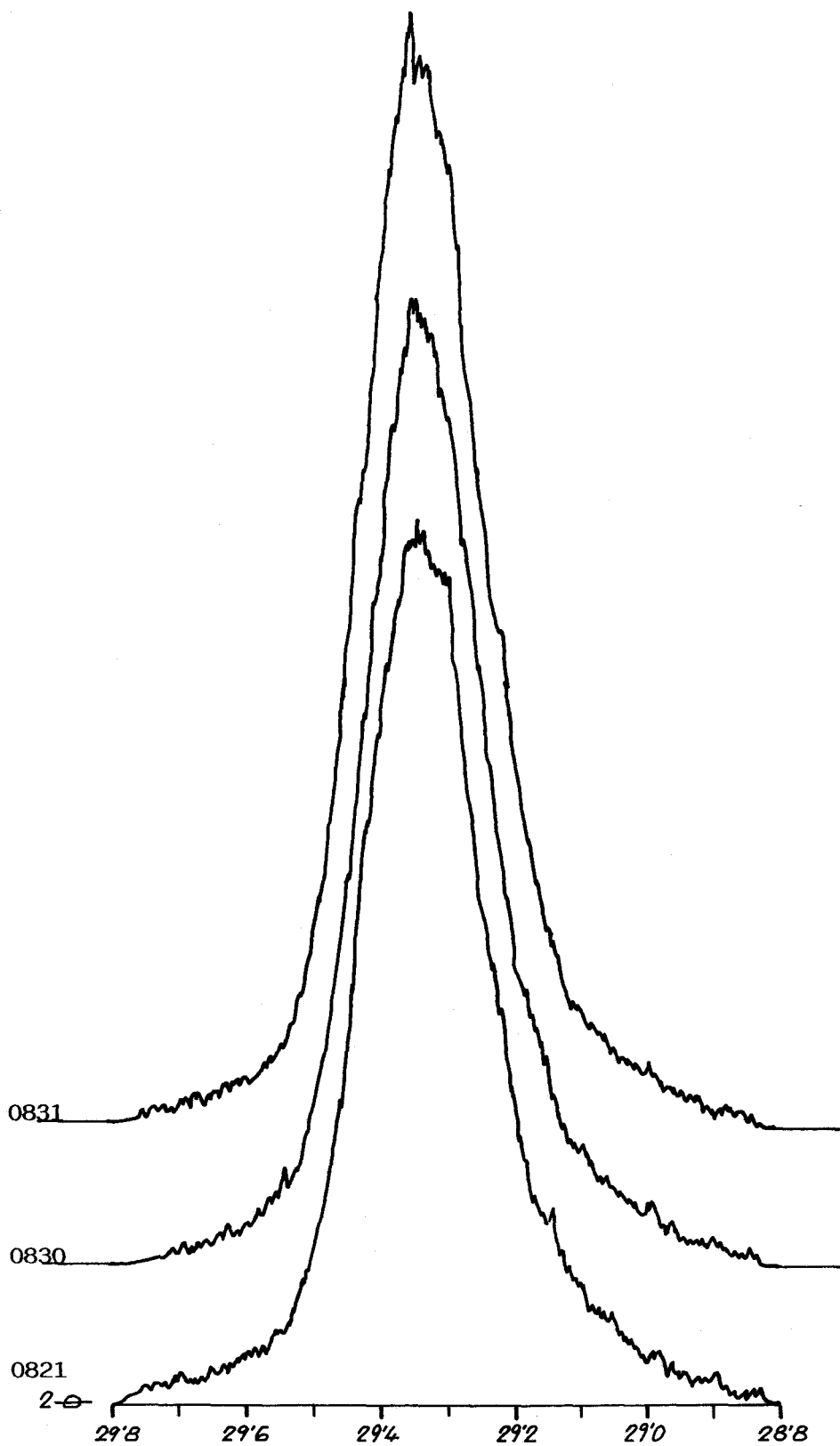


Fig. 44 Pico de DRX del plano (021) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkerés



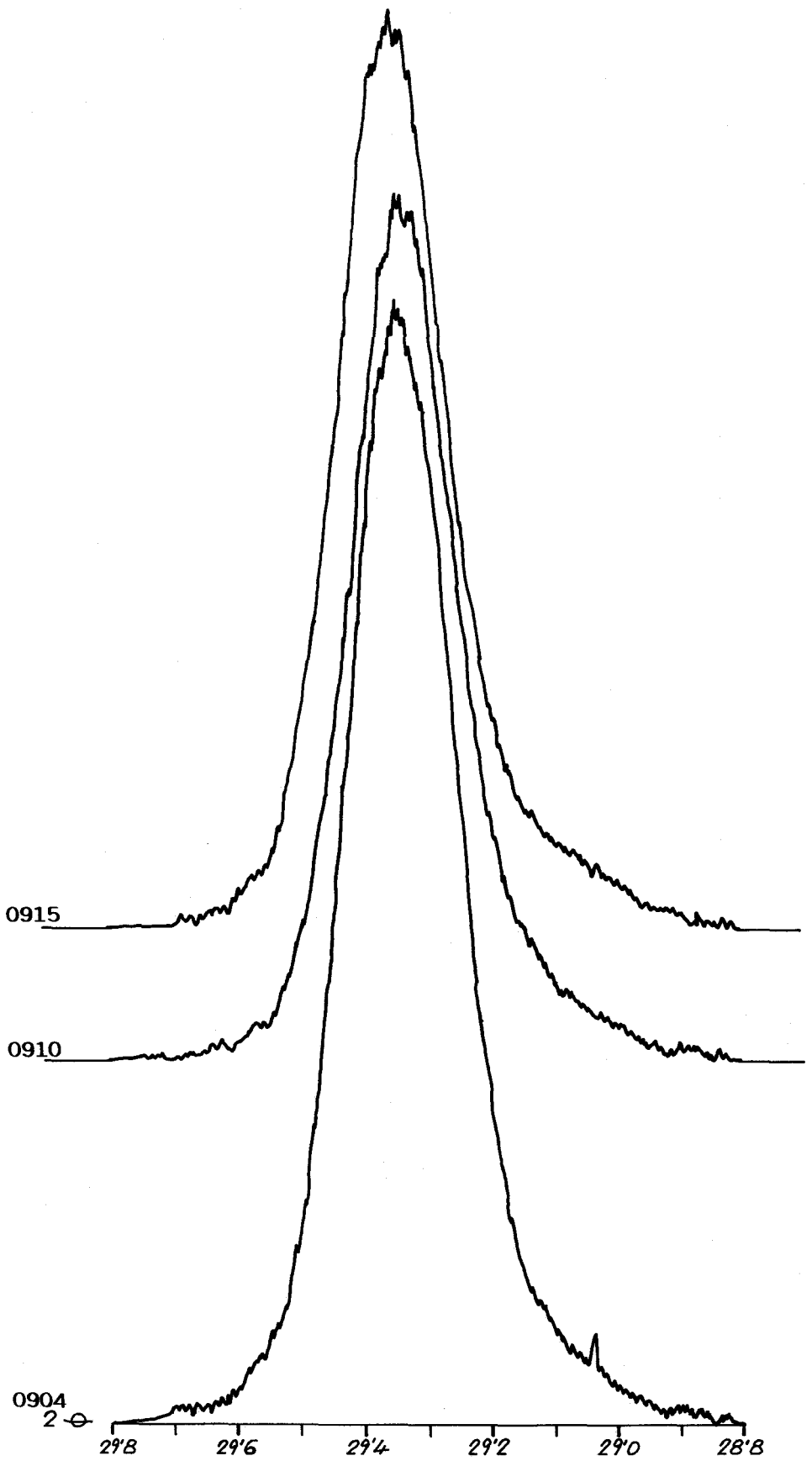


Fig. 45 Pico de DRX del plano (021) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkerres

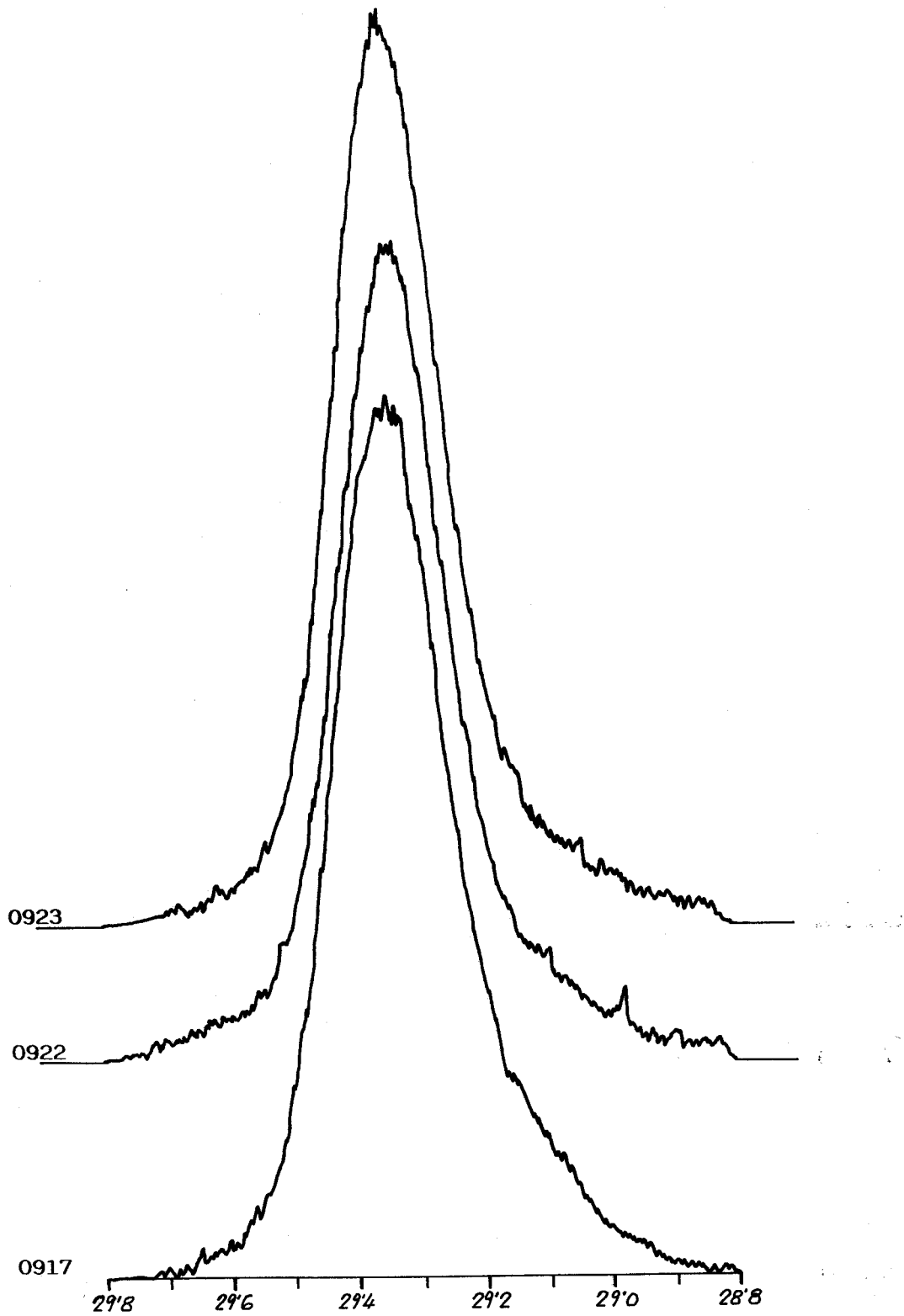


Fig. 46 Pico de DRX del plano (021) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

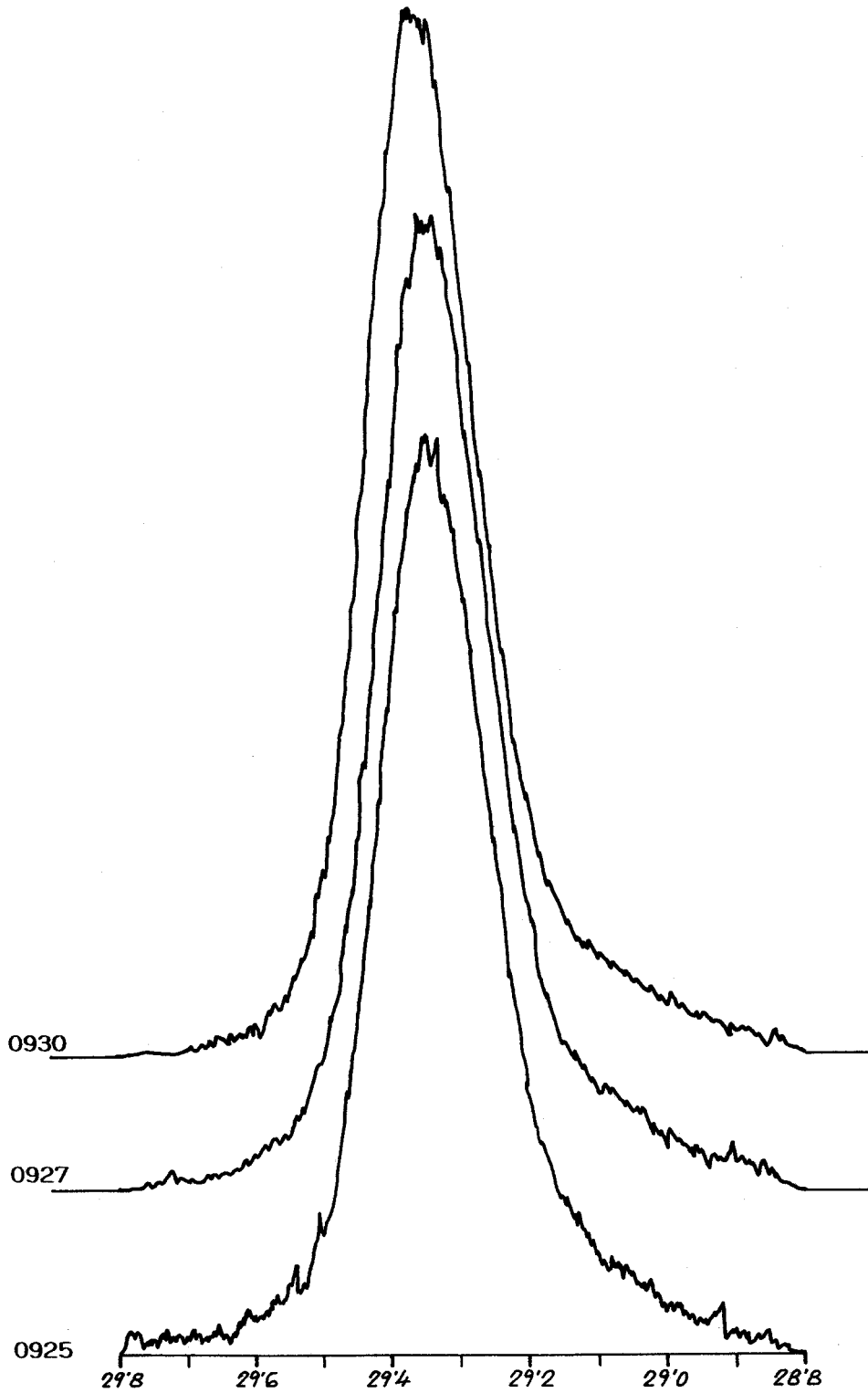


Fig. 47 Pico de DRX del plano (021) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres

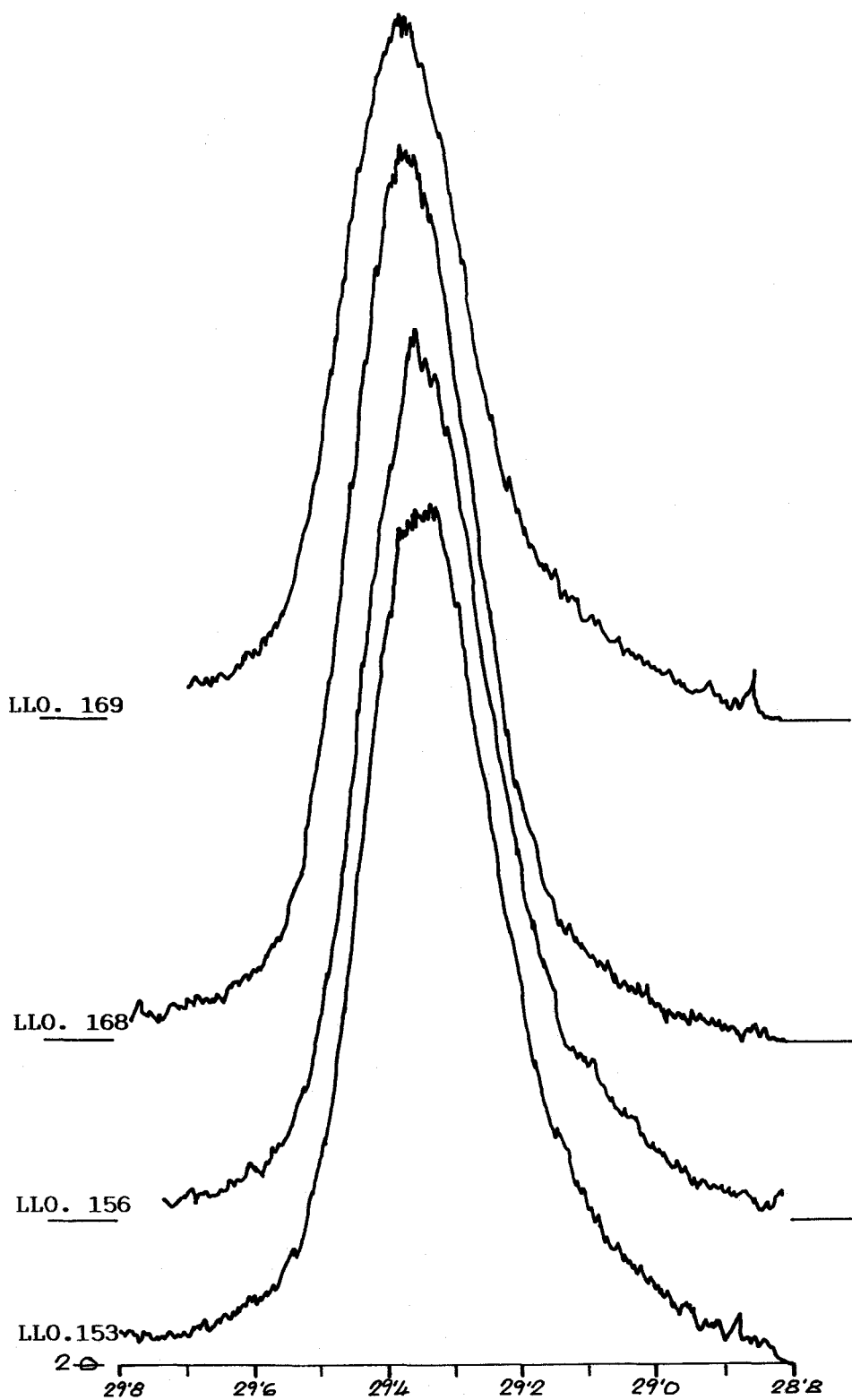


Fig. 48 Pico de DRX del plano (021) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkerres

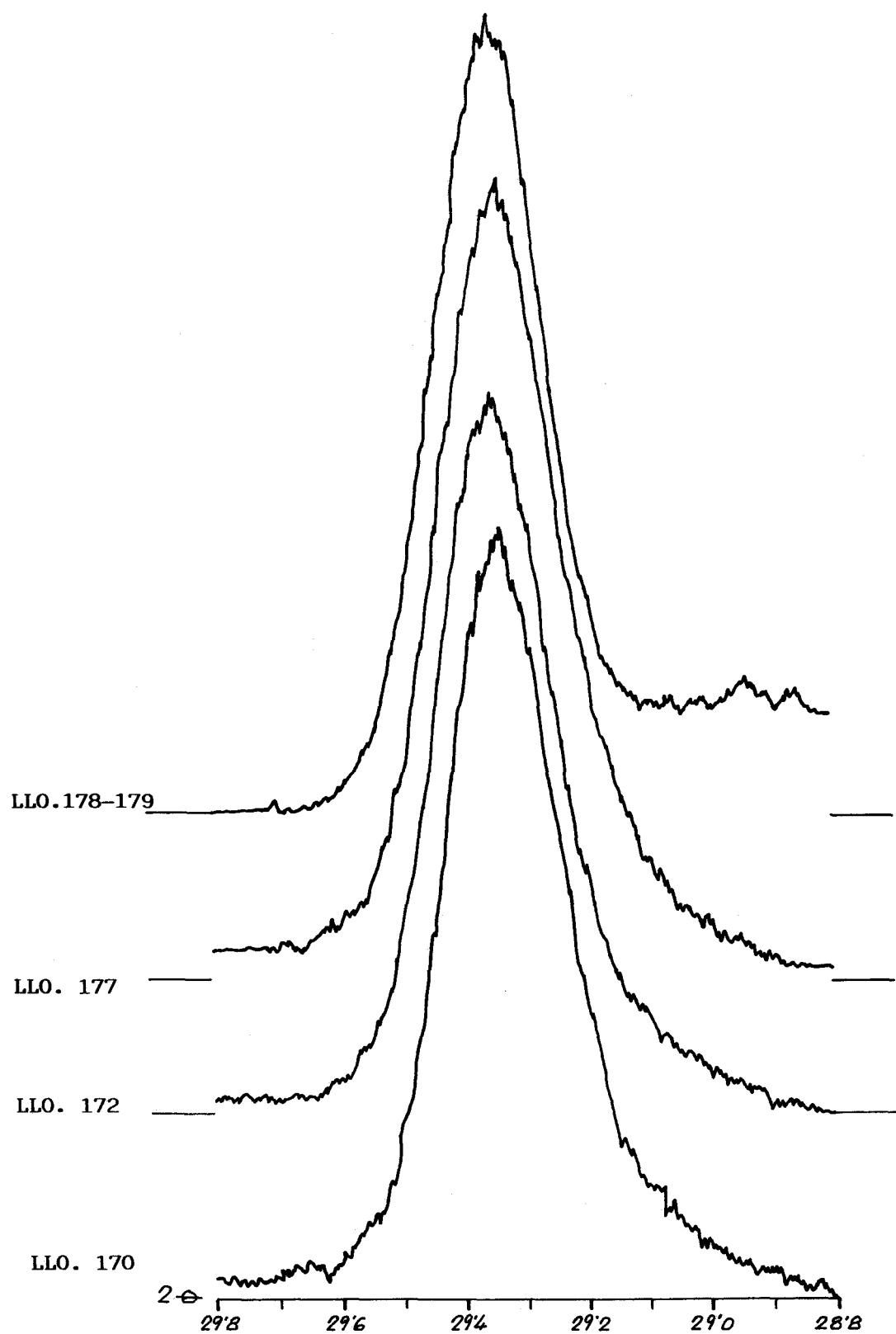


Fig. 49 Pico de DRX del plano (021) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

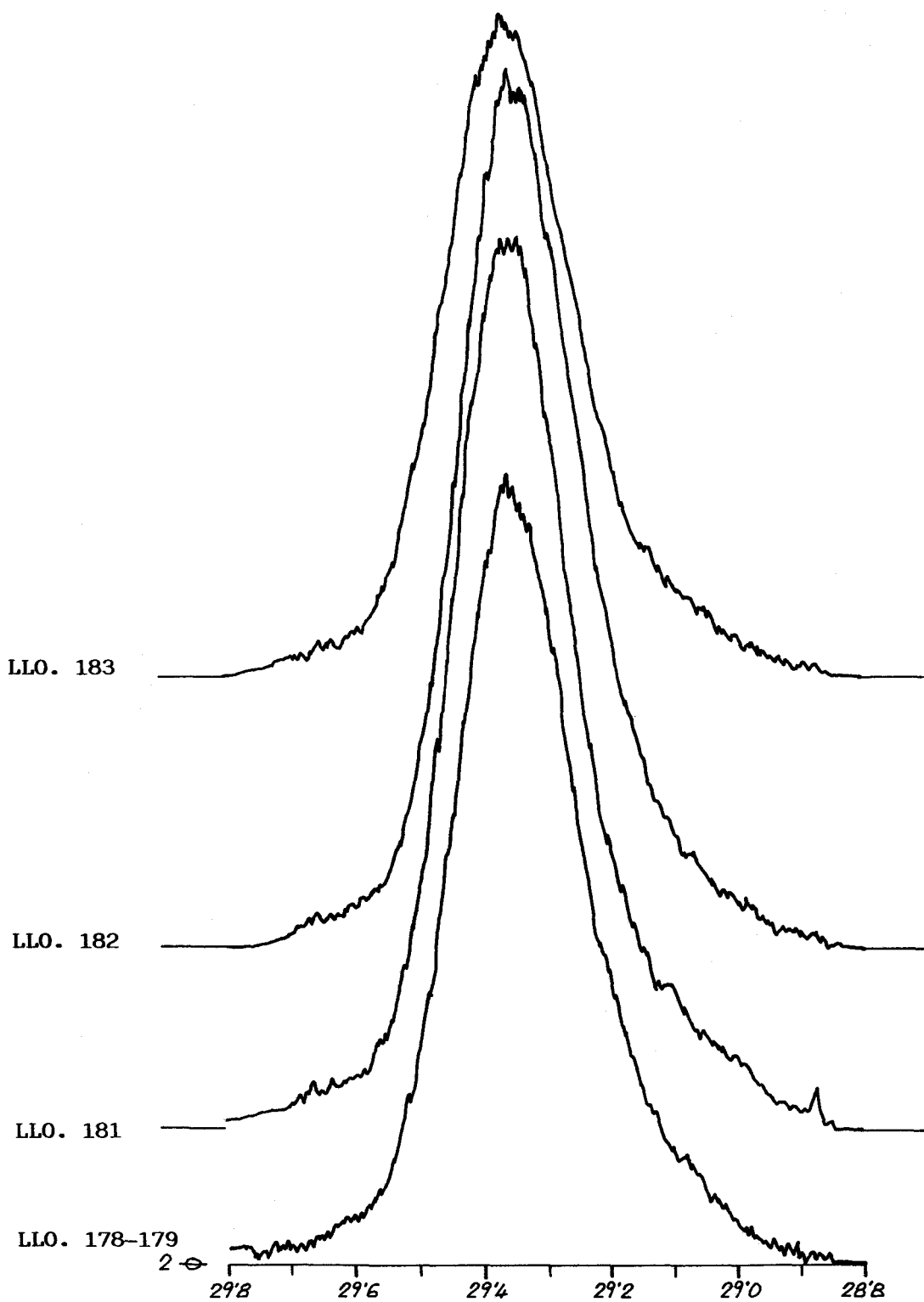


Fig. 50 Pico de DRX del plano (021) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

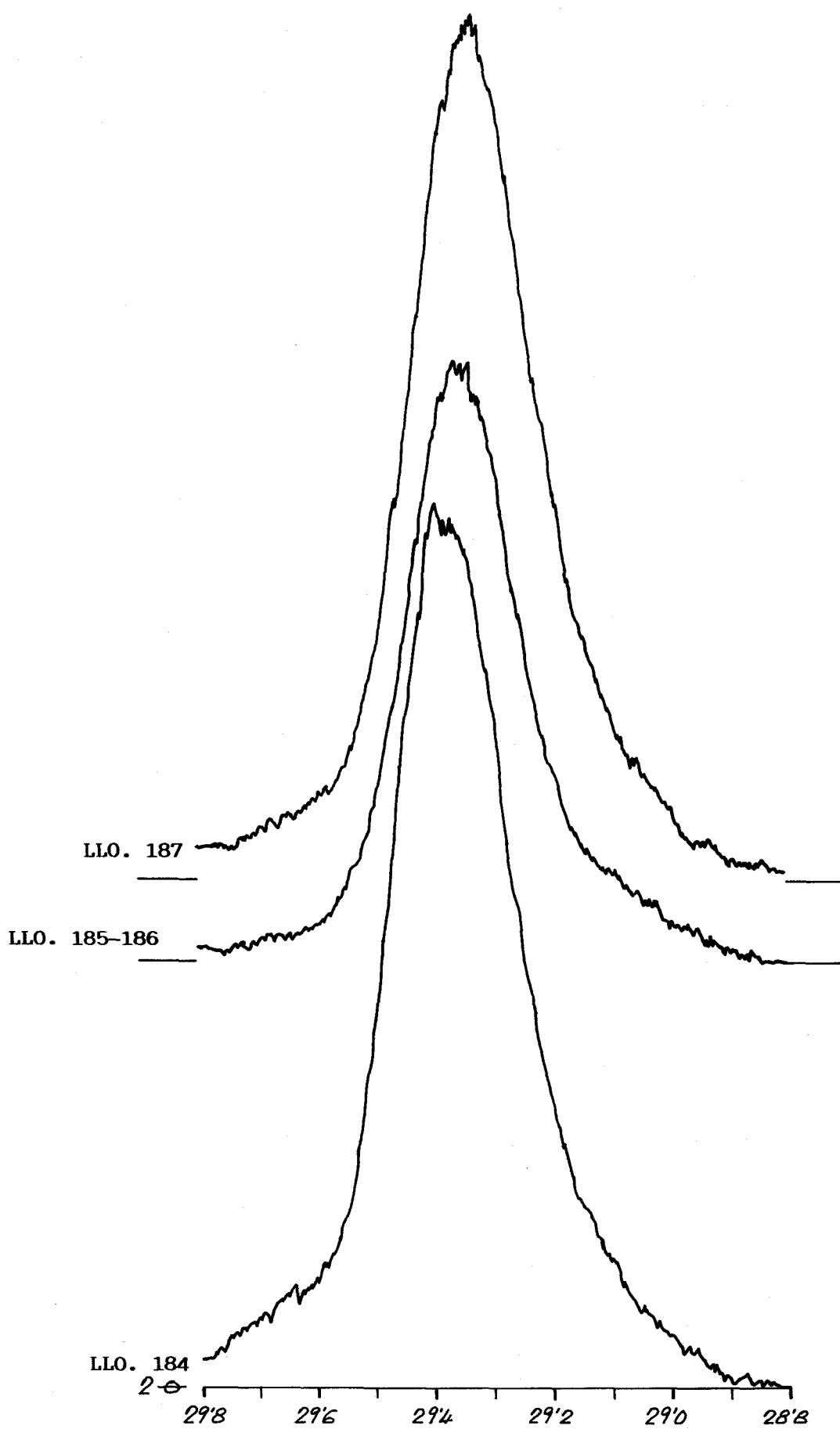


Fig. 51 Pico de DRX del plano (021) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

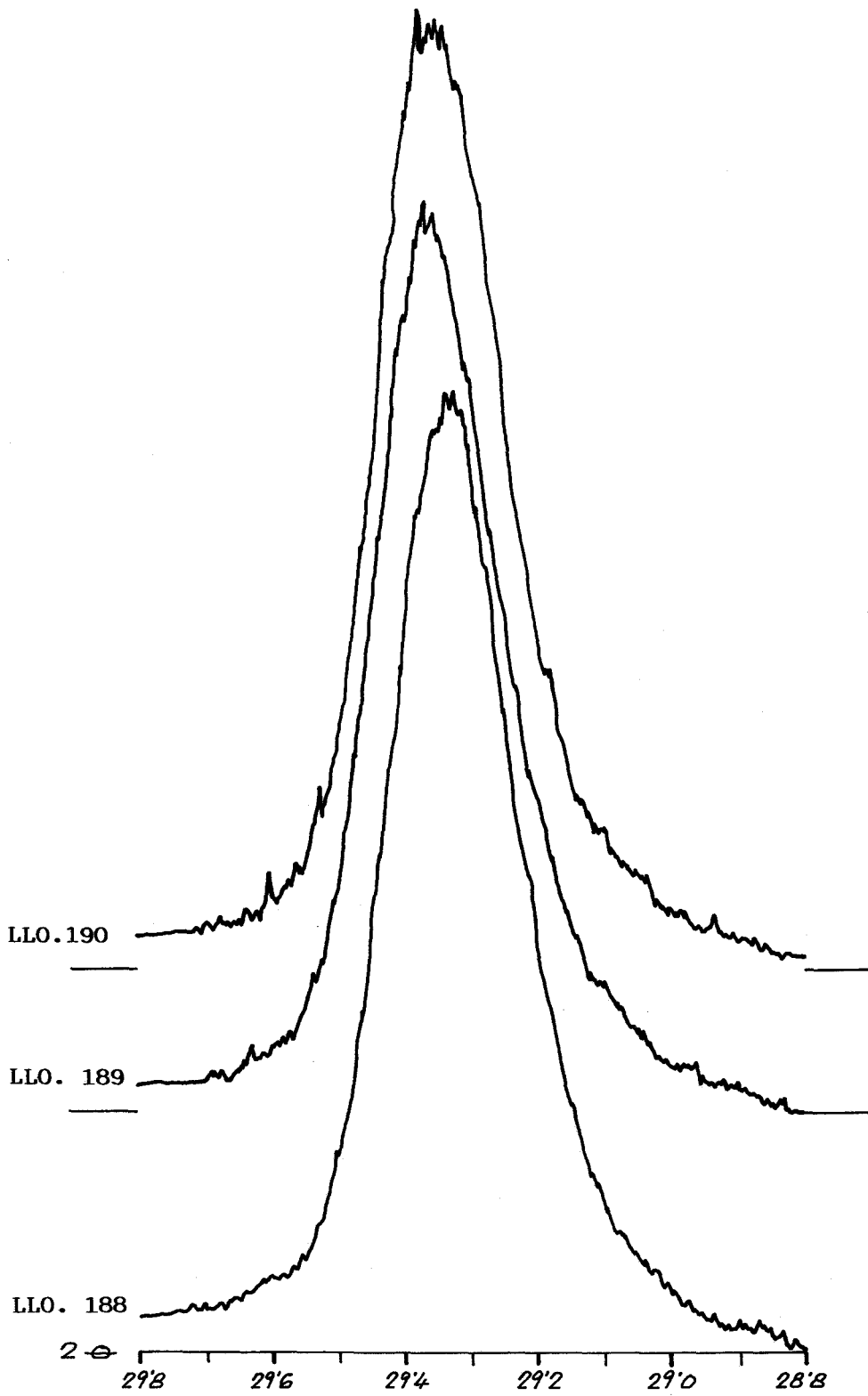


Fig. 52 Pico de DRX del plano (021) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres



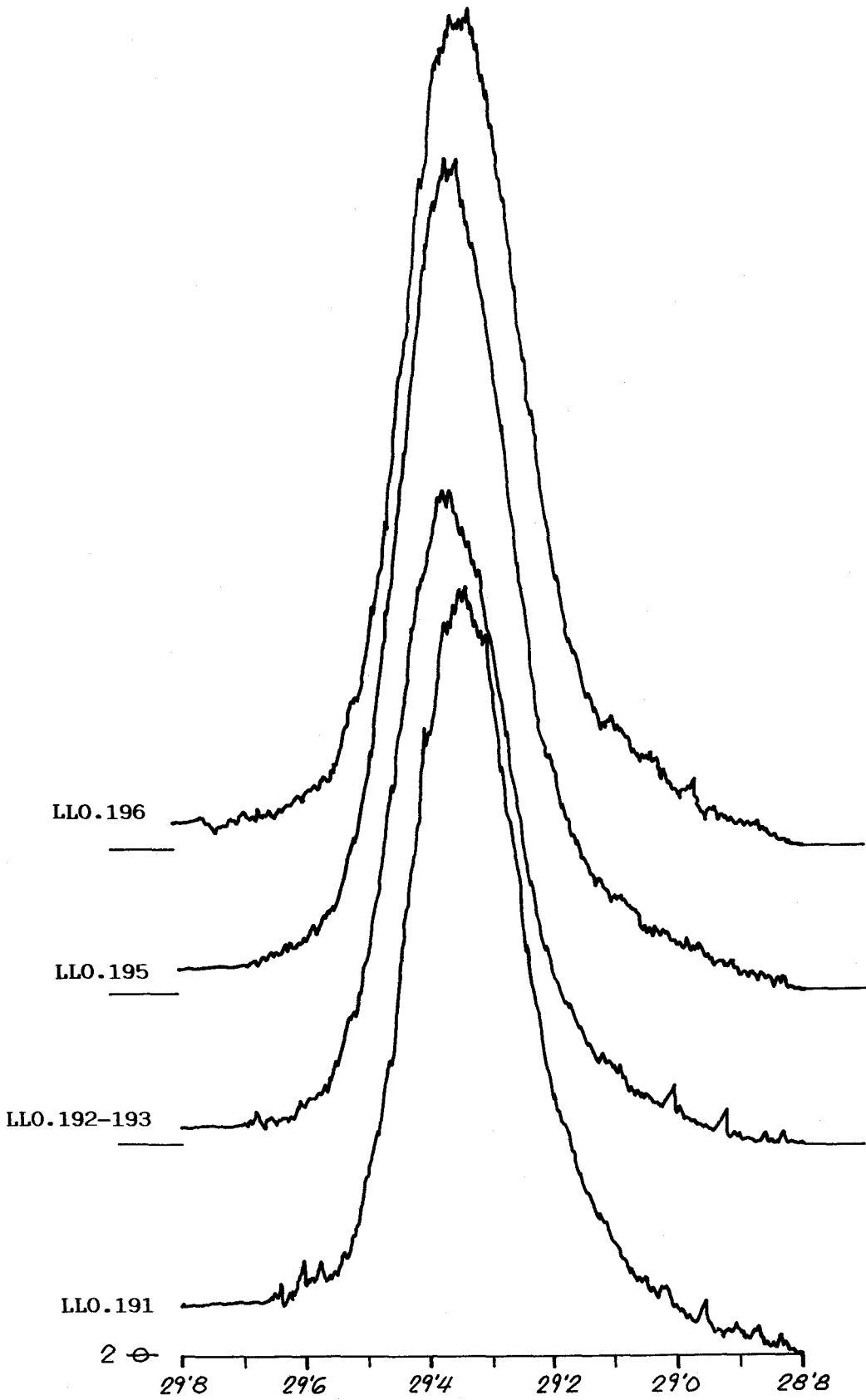


Fig. 53 Pico de DRX del plano (021) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

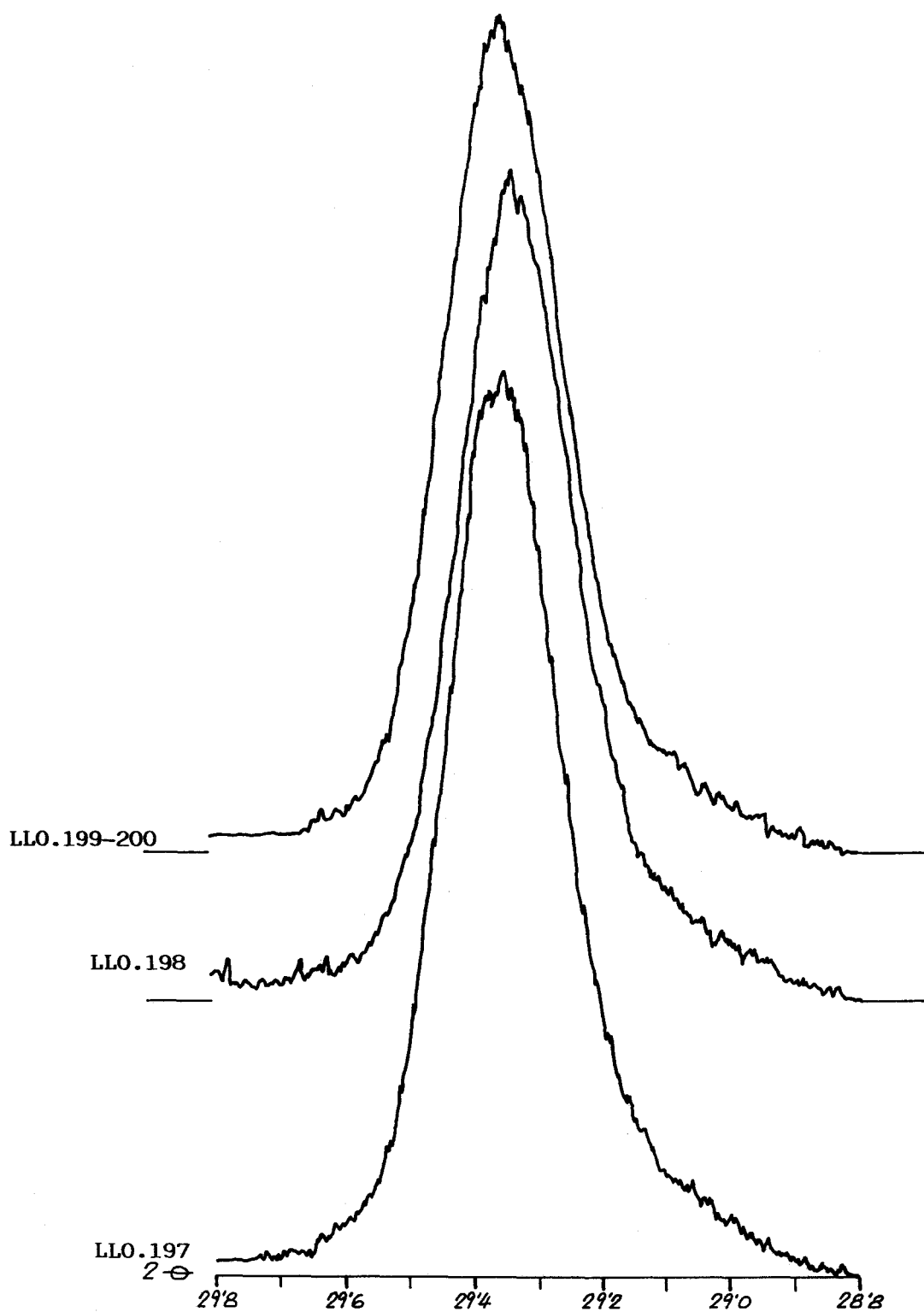


Fig. 54 Pico de DRX del plano (021) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres

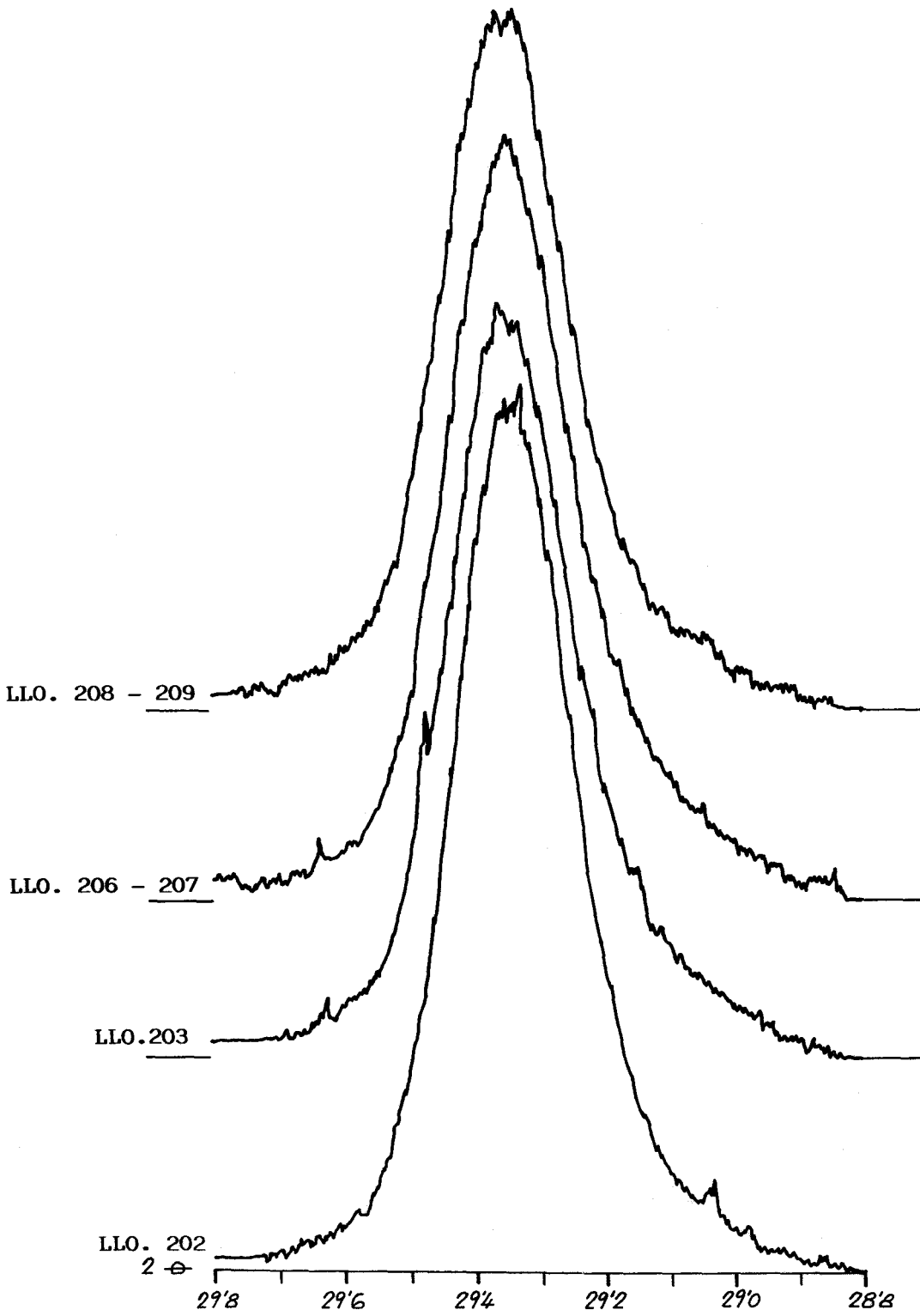


Fig. 55 Pico de DRX del plano (021) del  $C_3S$  de diversos clinkerés

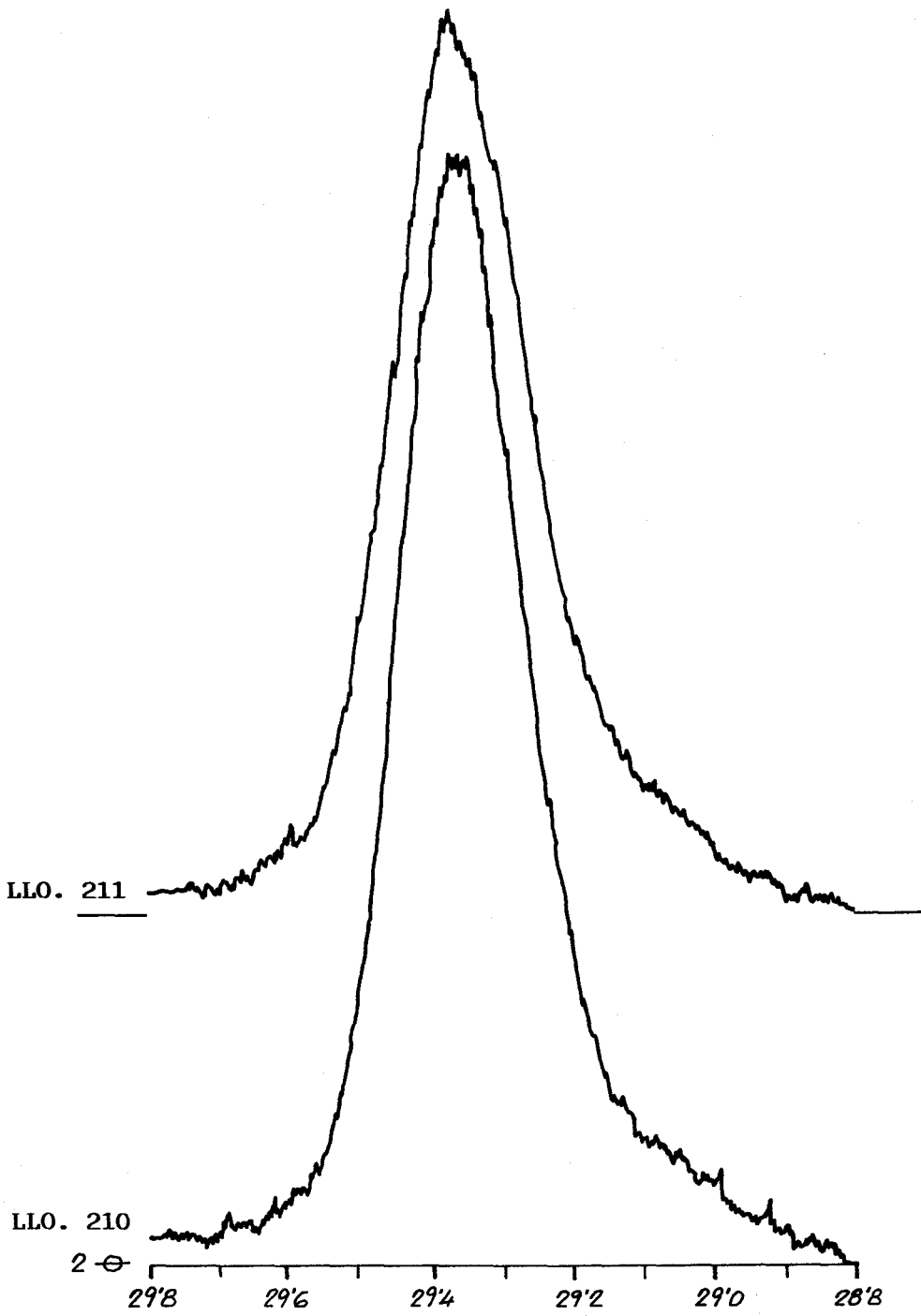


Fig. 56y57. Pico de DRX del plano (021) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres

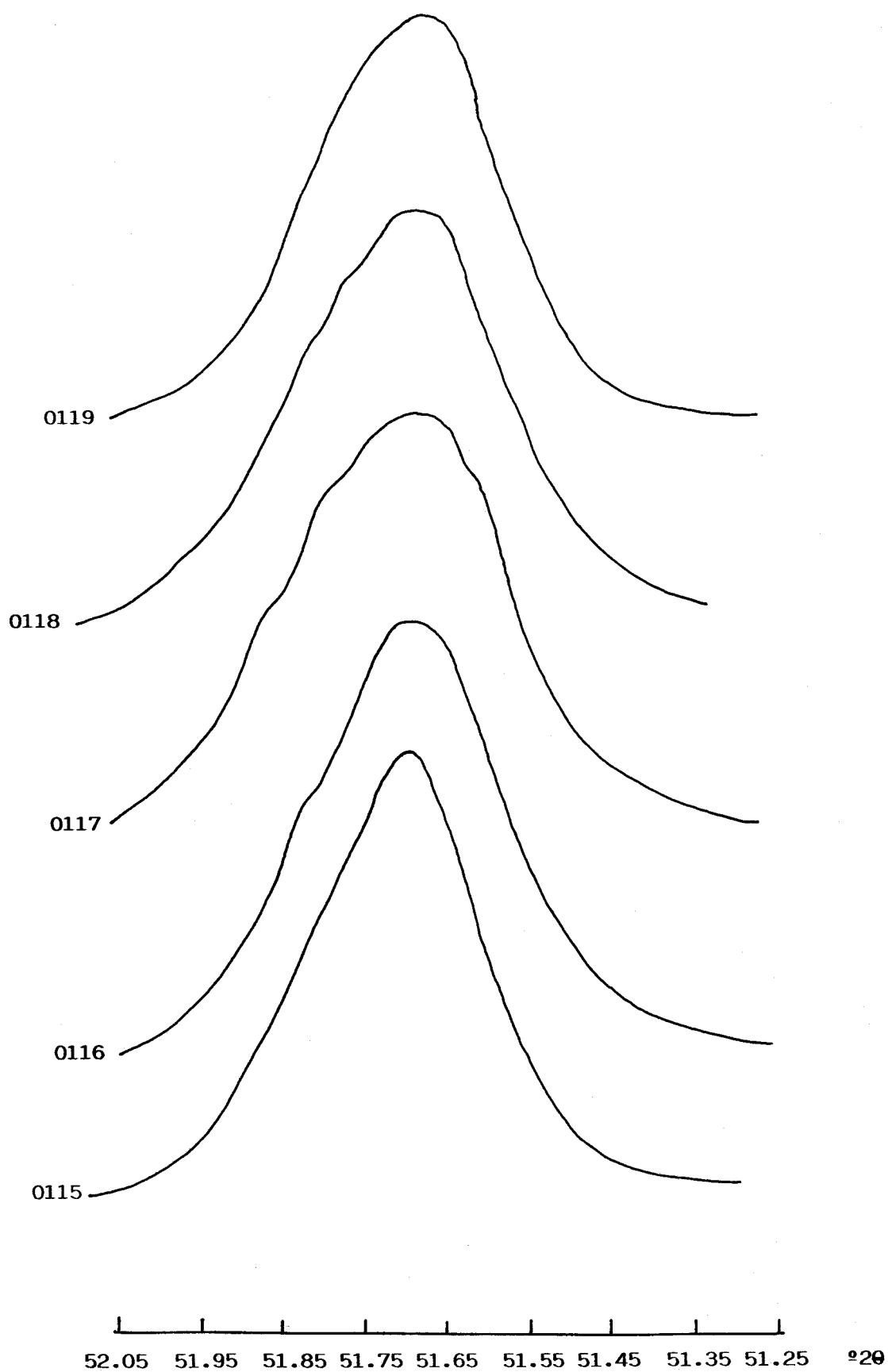


Fig. 58 Pico de DRX del plano (220) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

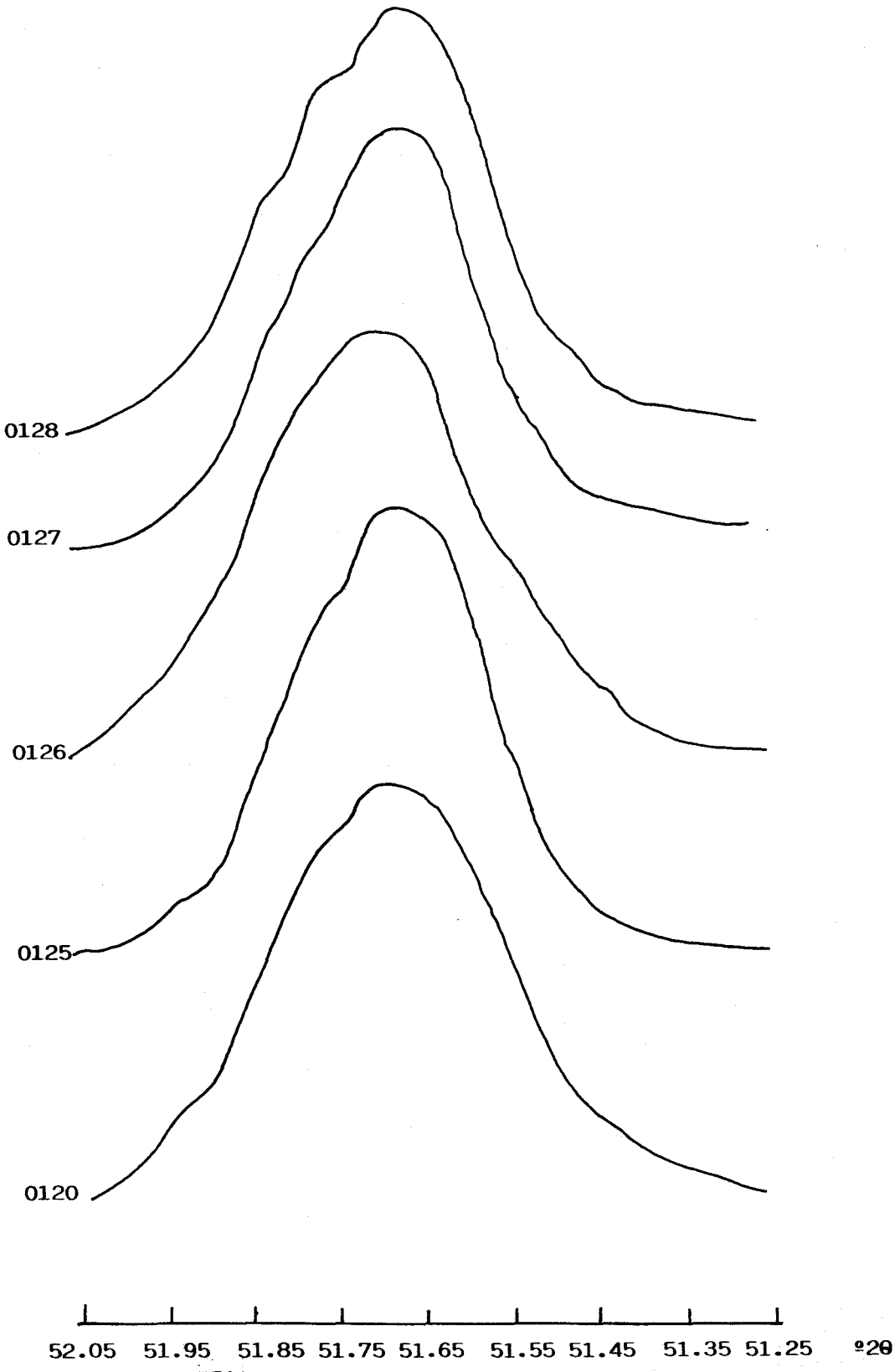


Fig. 59 Pico de DRX del plano (220) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres

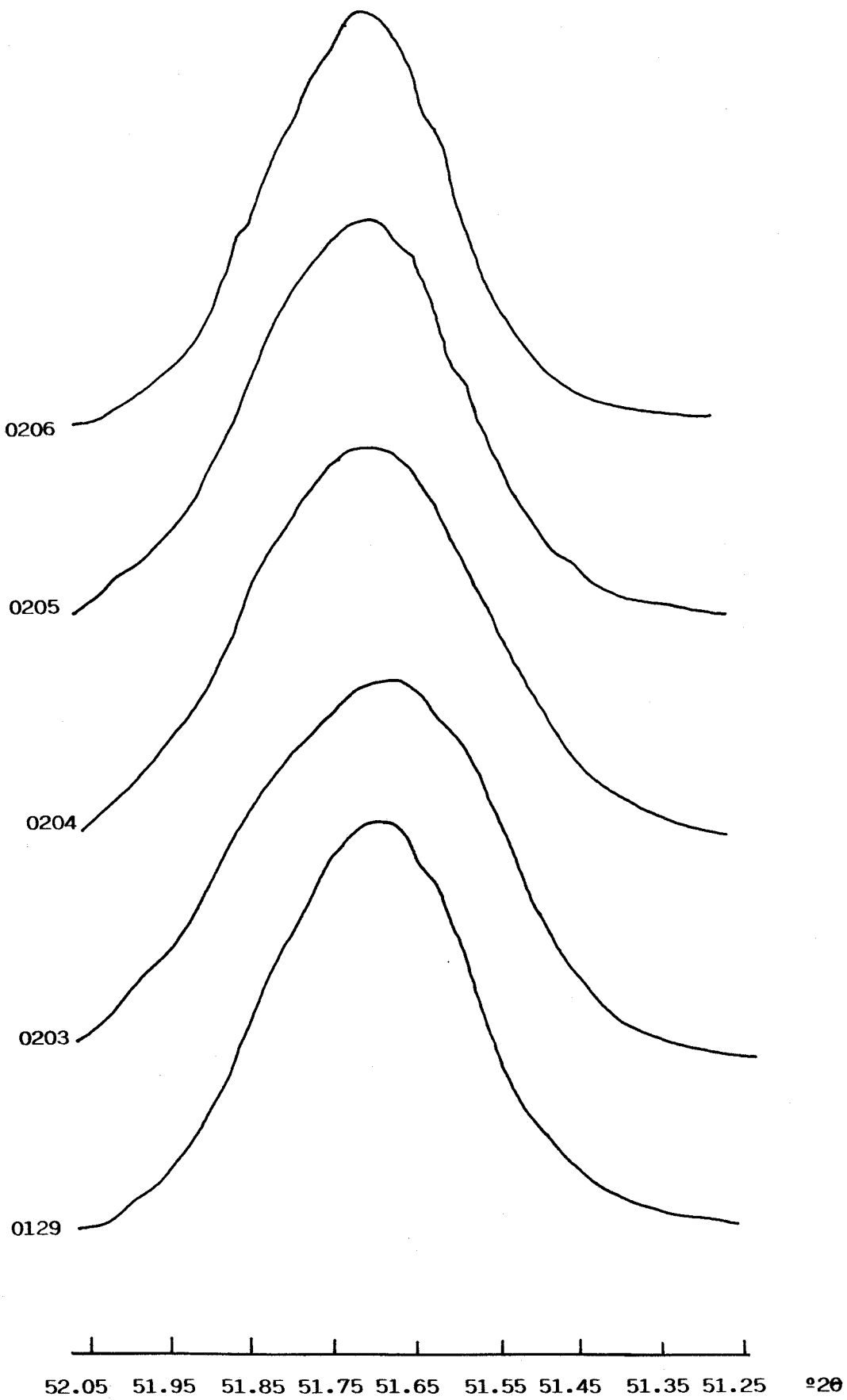


Fig. 60 Pico de DRX del plano (220) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

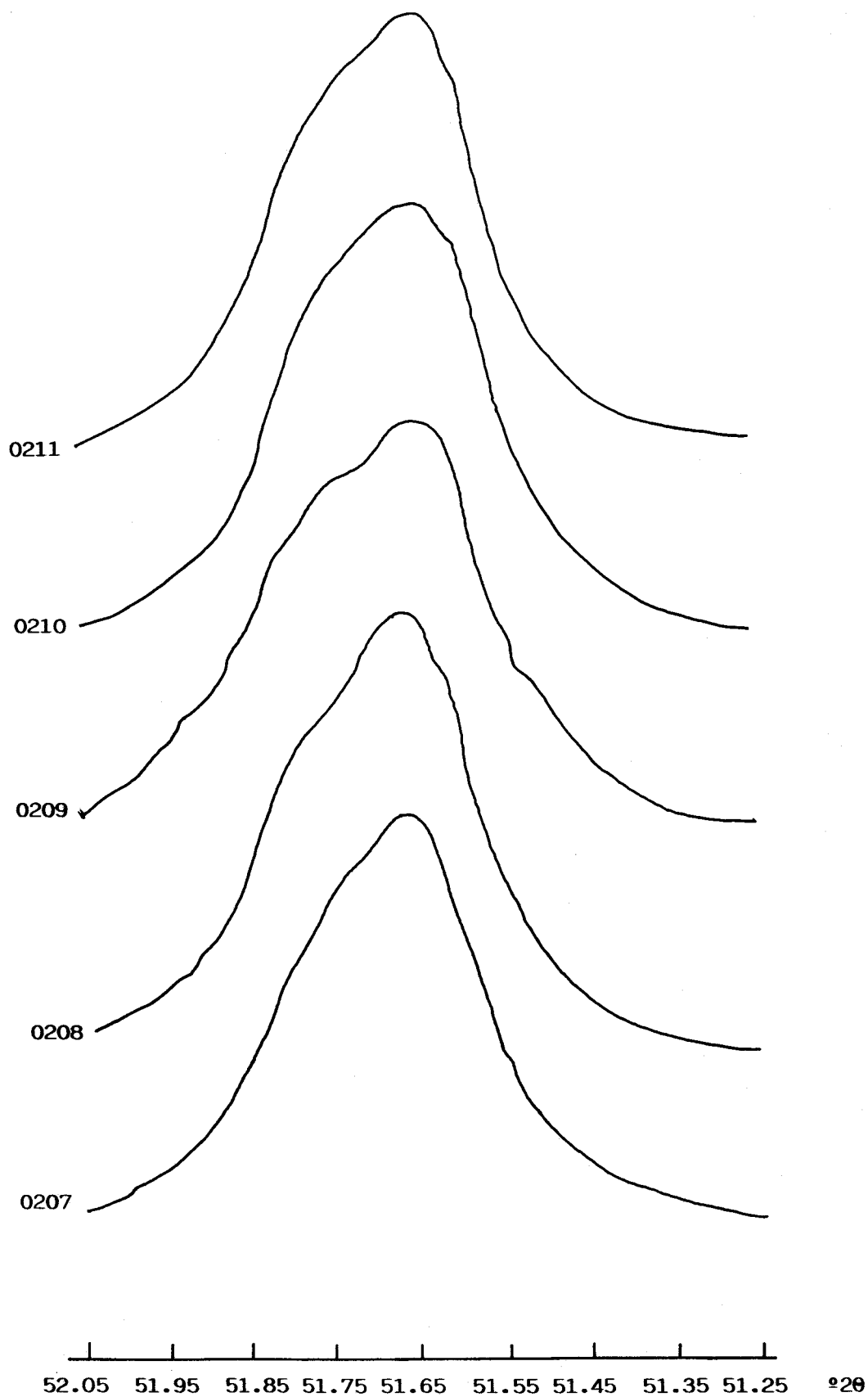


Fig. 61 Pico de DRX del plano (220) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres



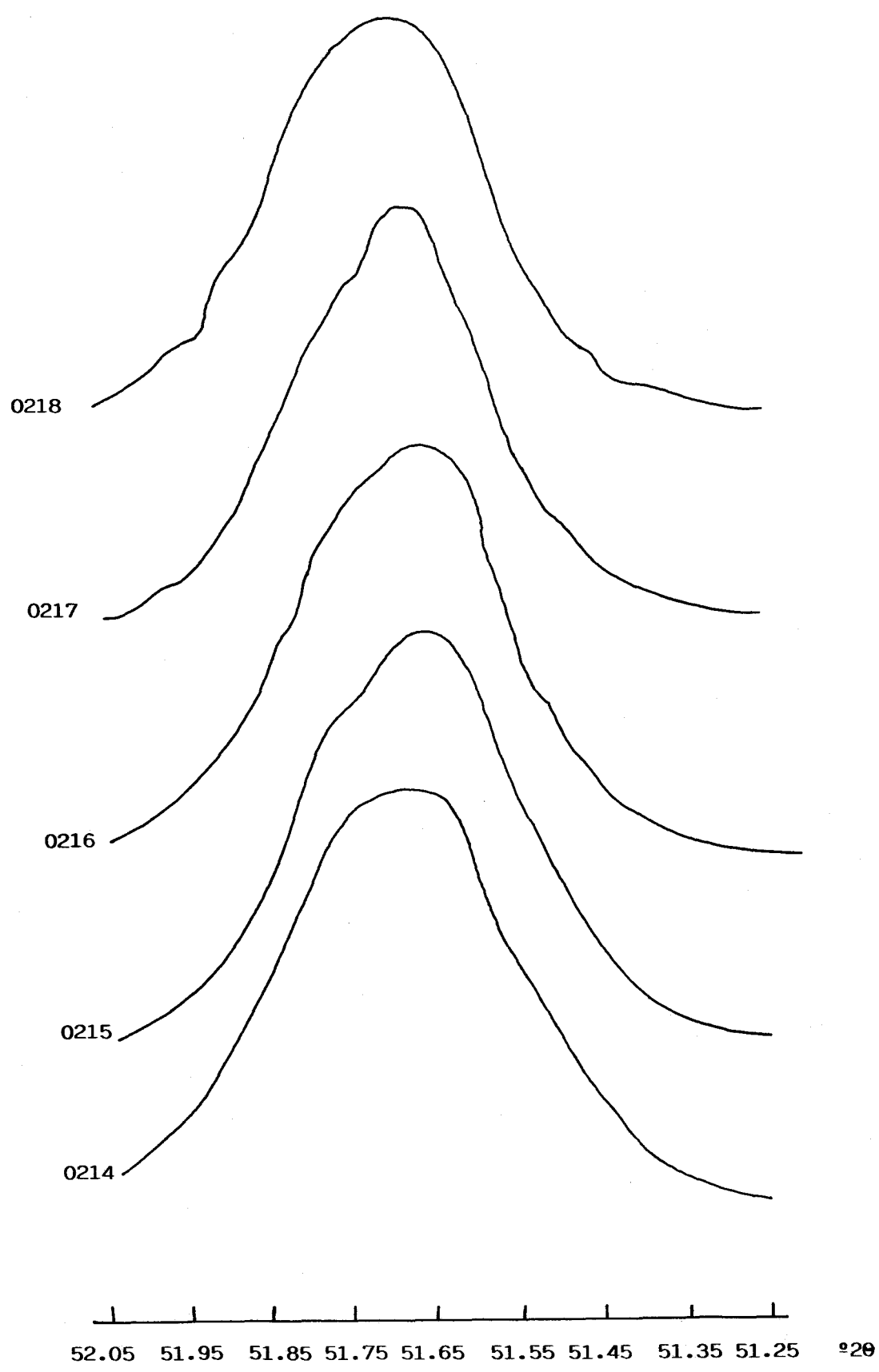


Fig. 62 Pico de DRX del plano (220) del  $C_3S$  de diversos clinkerres

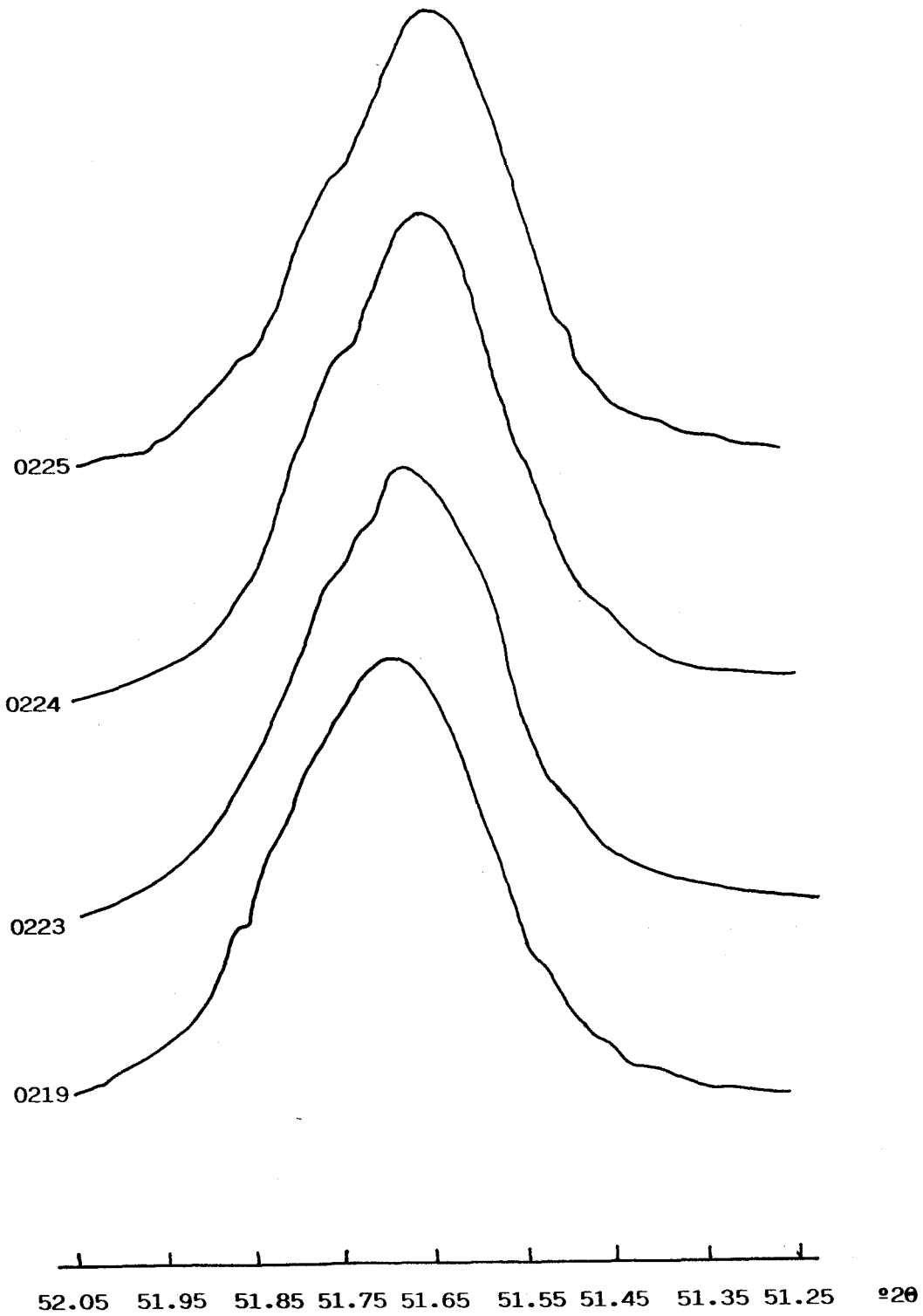


Fig. 63 Pico de DRX del plano (220) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres

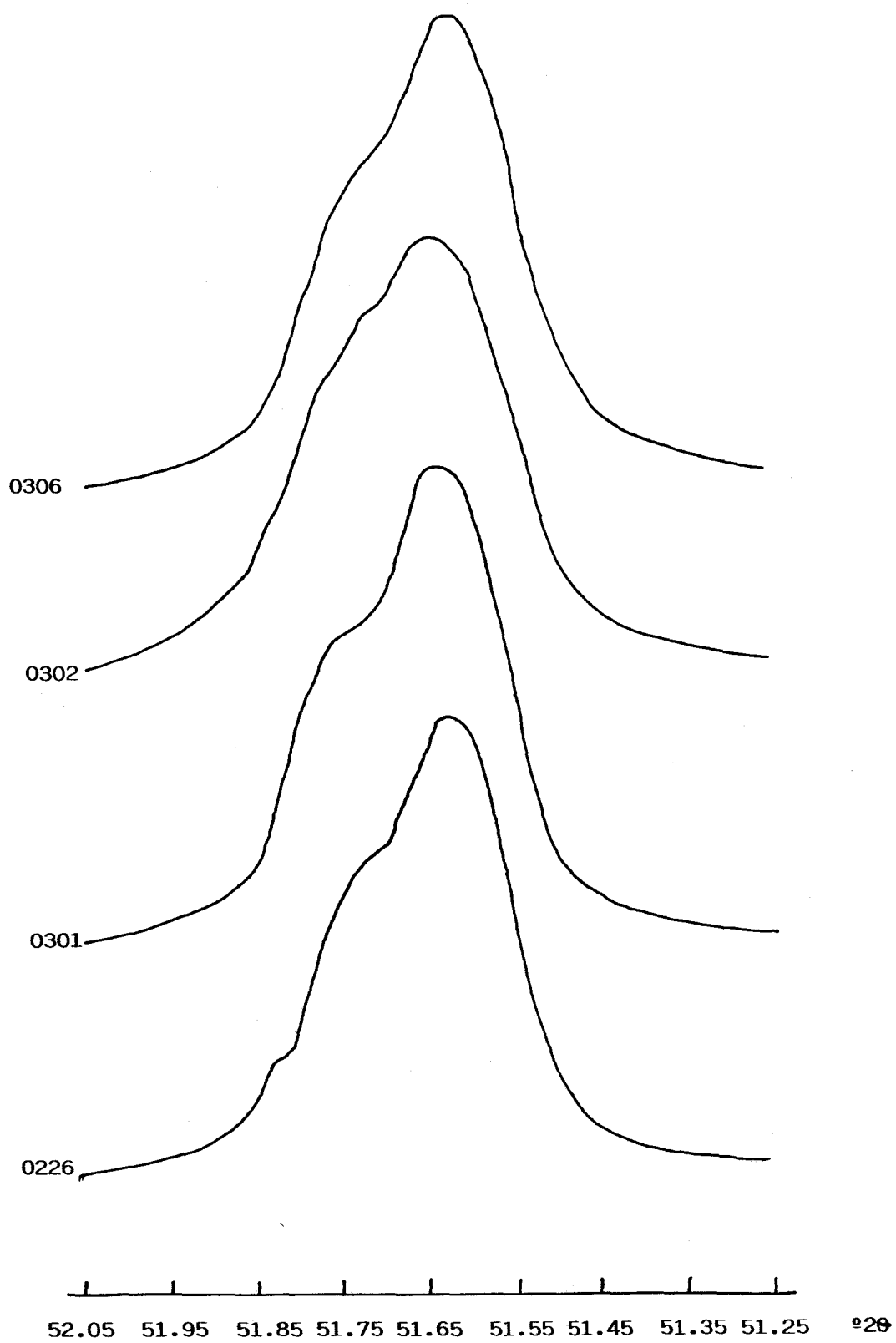


Fig. 64 Pico de DRX del plano (220) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

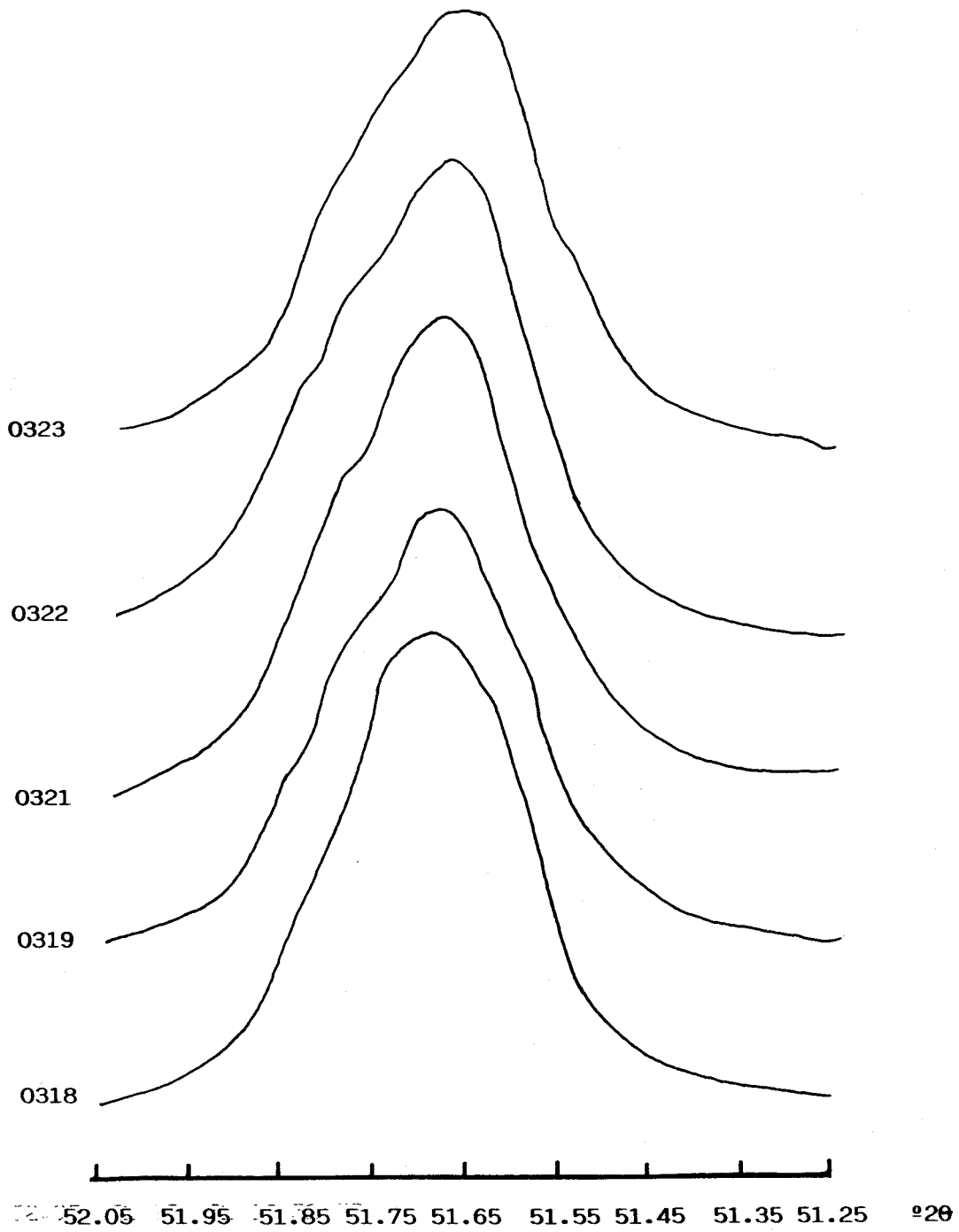


Fig. 65 Pico de DRX del plano (220) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

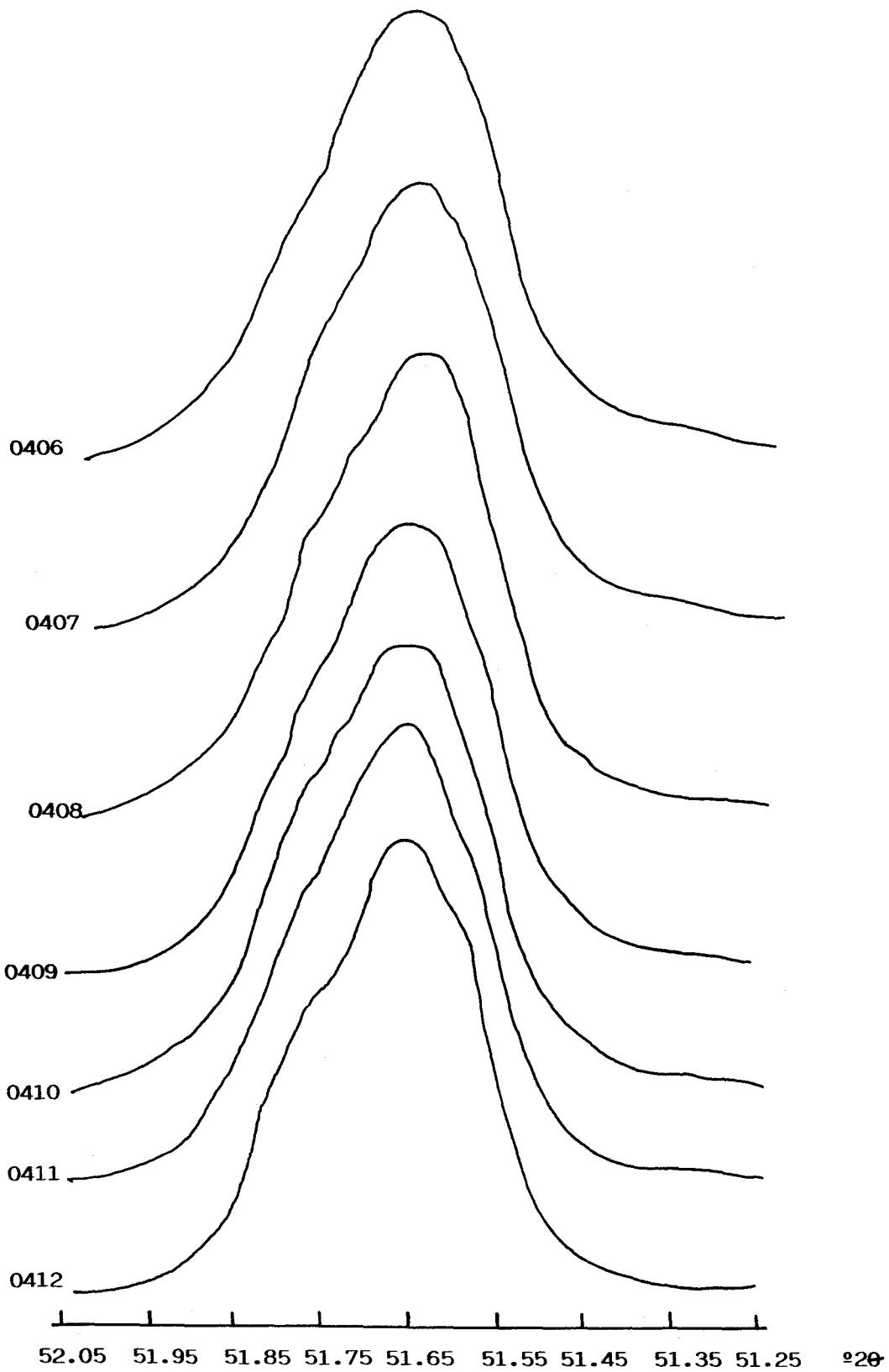


Fig. 66 Pico de DRX del plano (220) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres

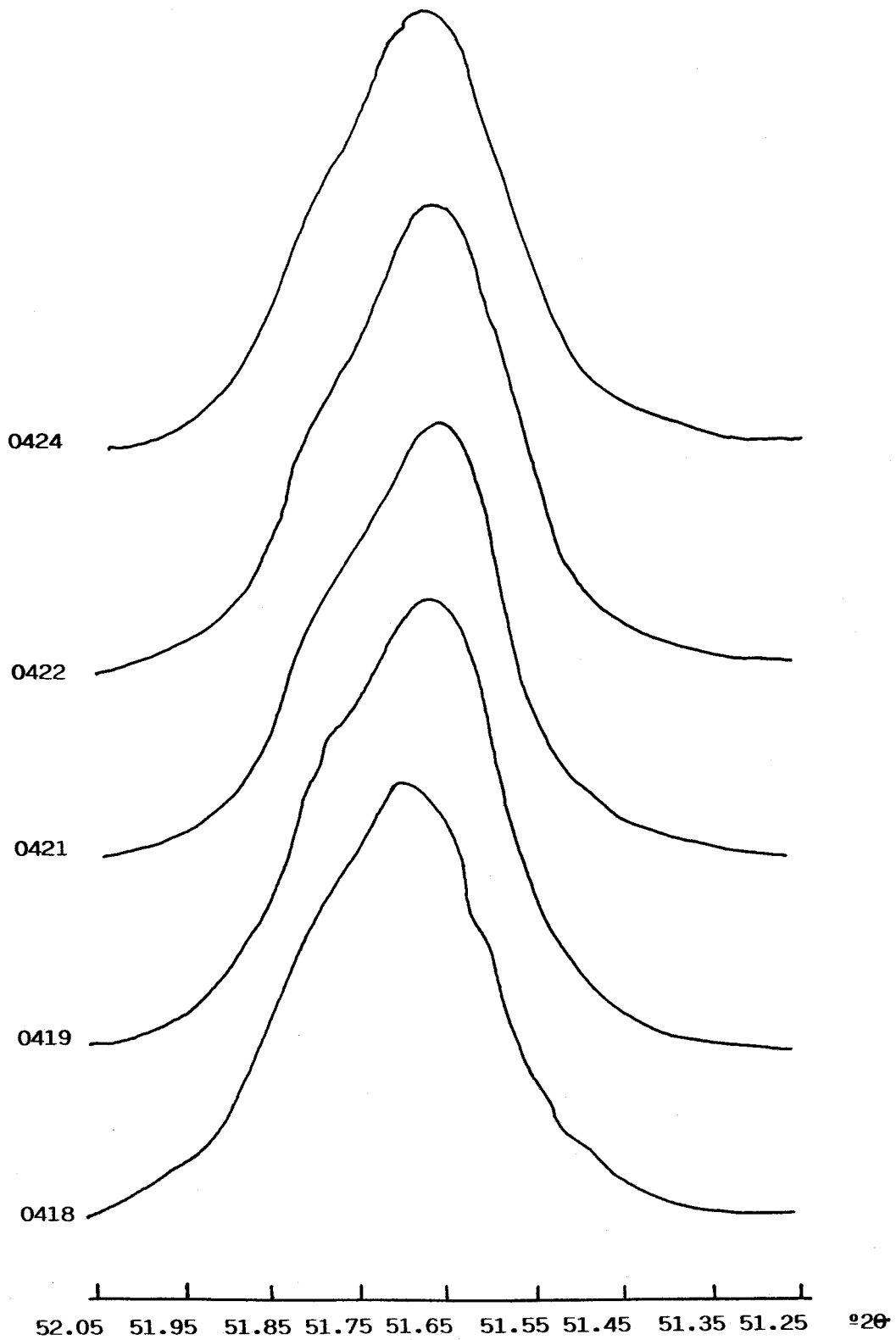


Fig. 67 Pico de DRX del plano (220) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres

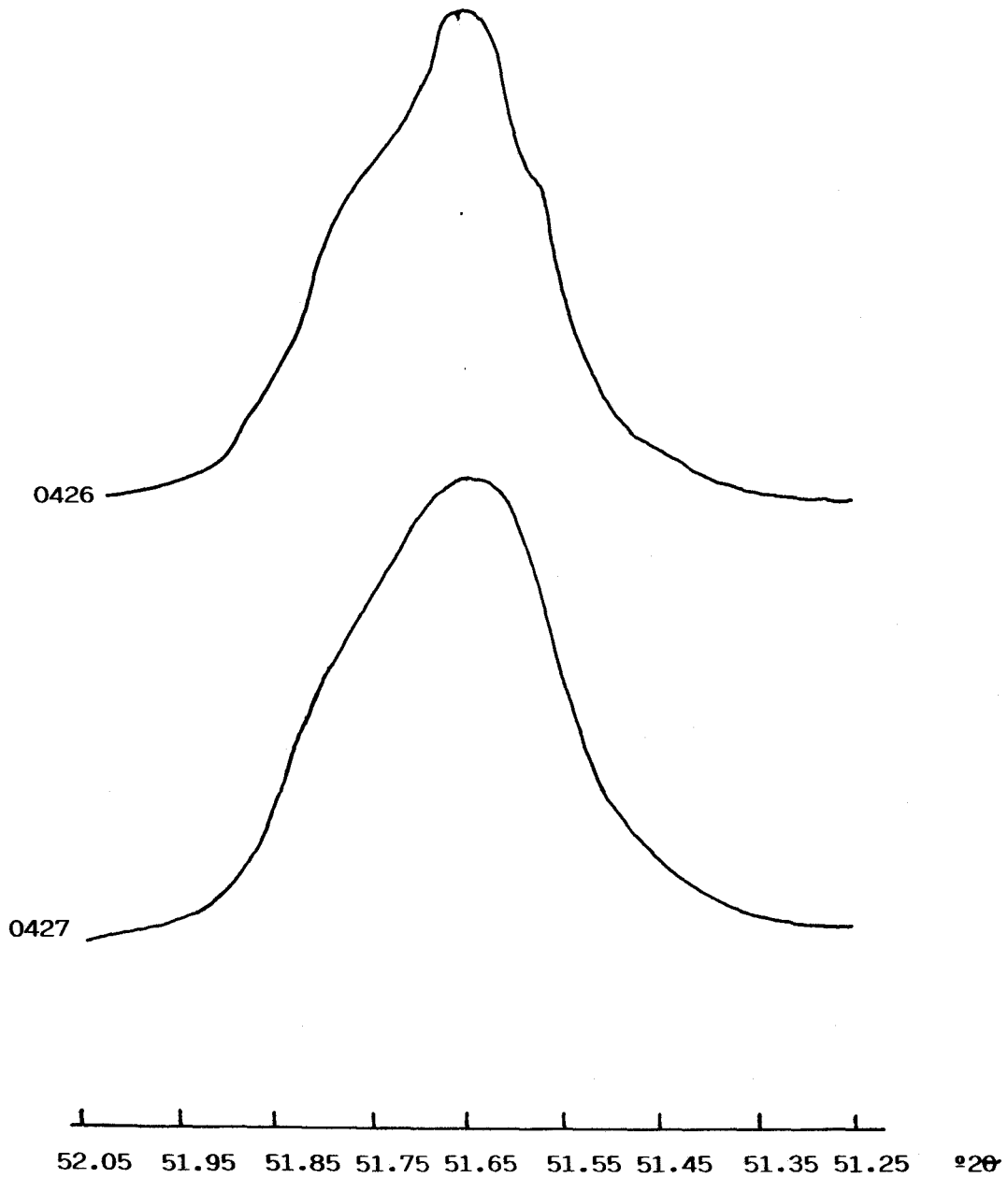


Fig. 68 Pico de DRX del plano (220) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

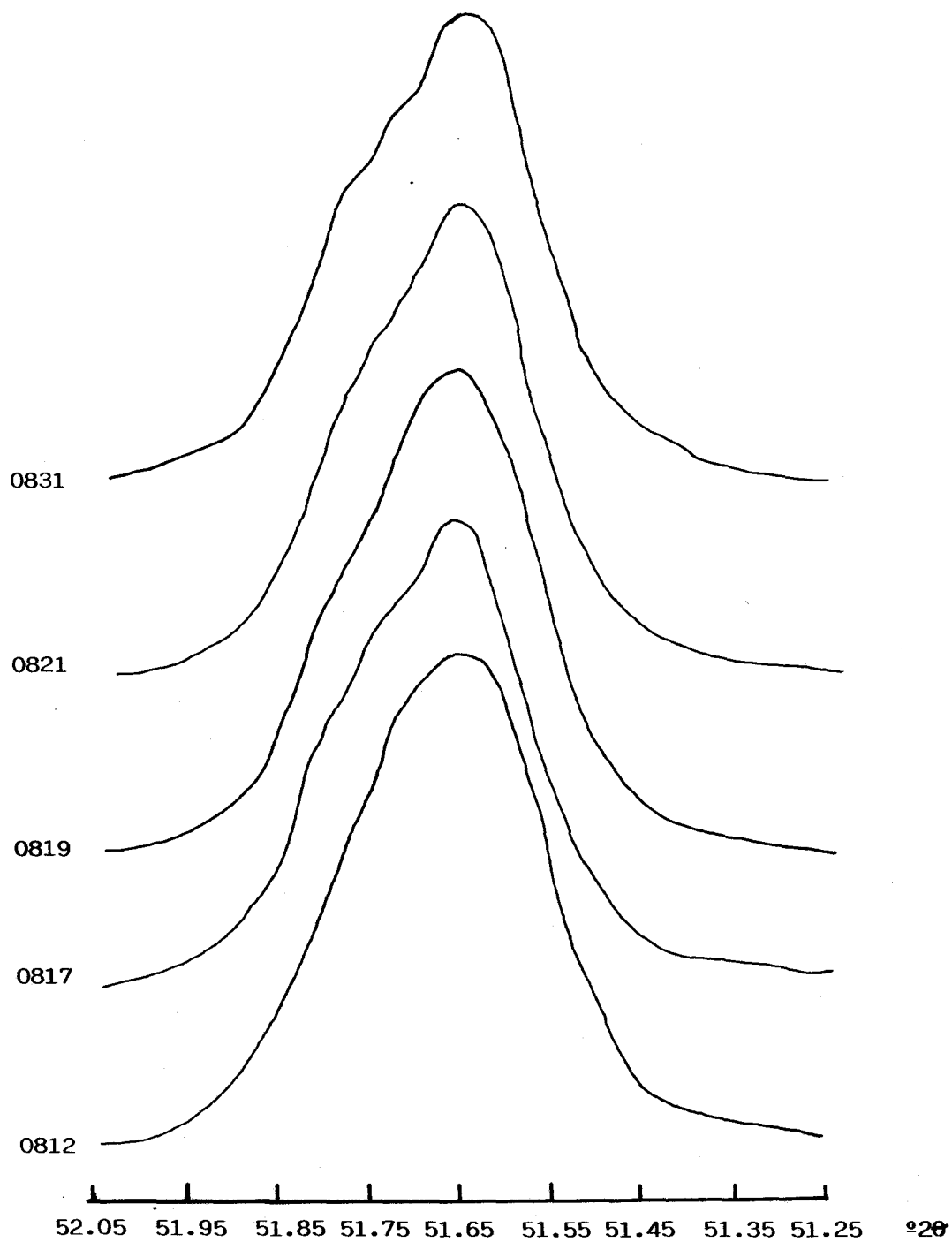


Fig. 69 Pico de DRX del plano (220) del  $C_3S$  de diversos clinkerres



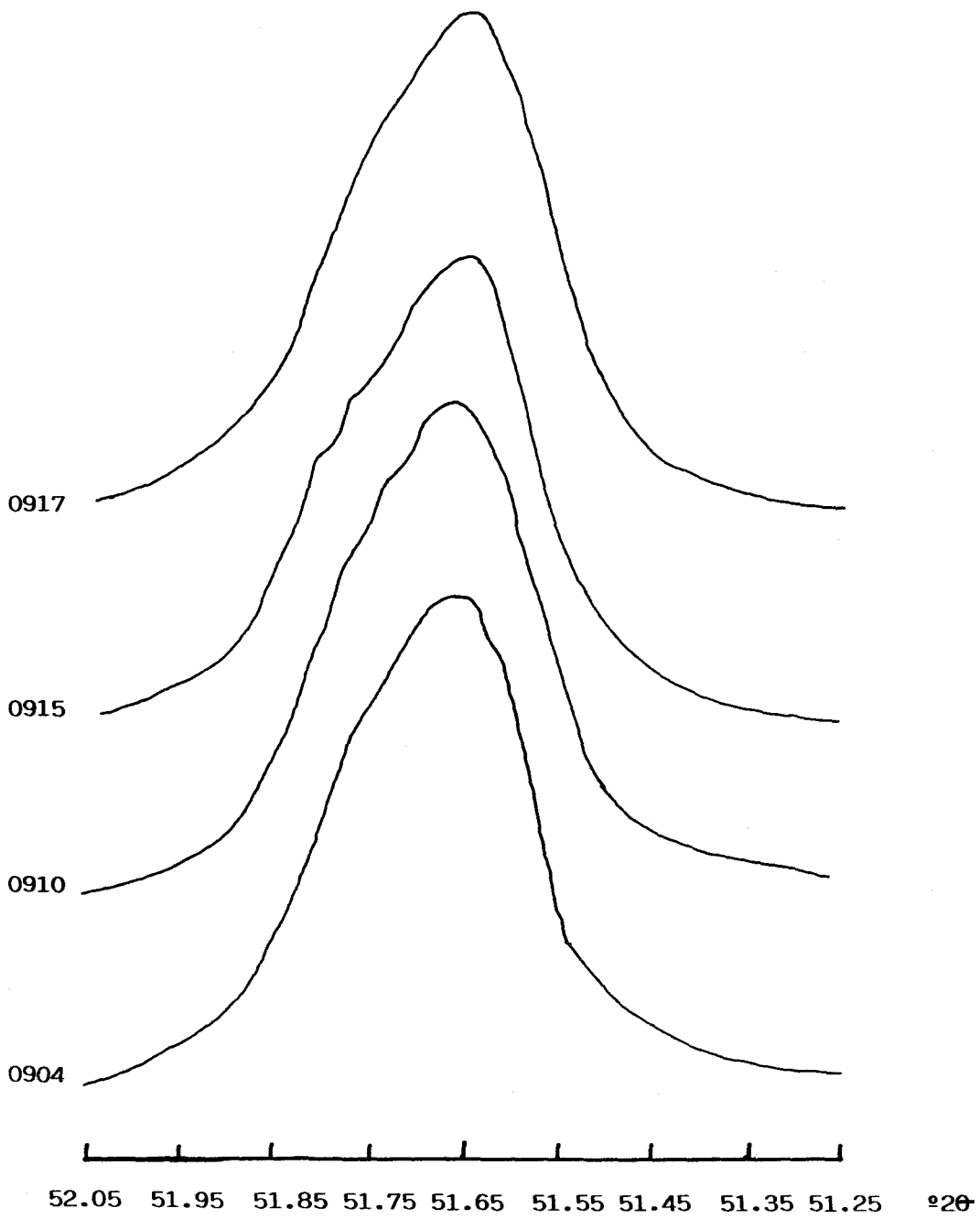


Fig. 70 Pico de DRX del plano (220) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres

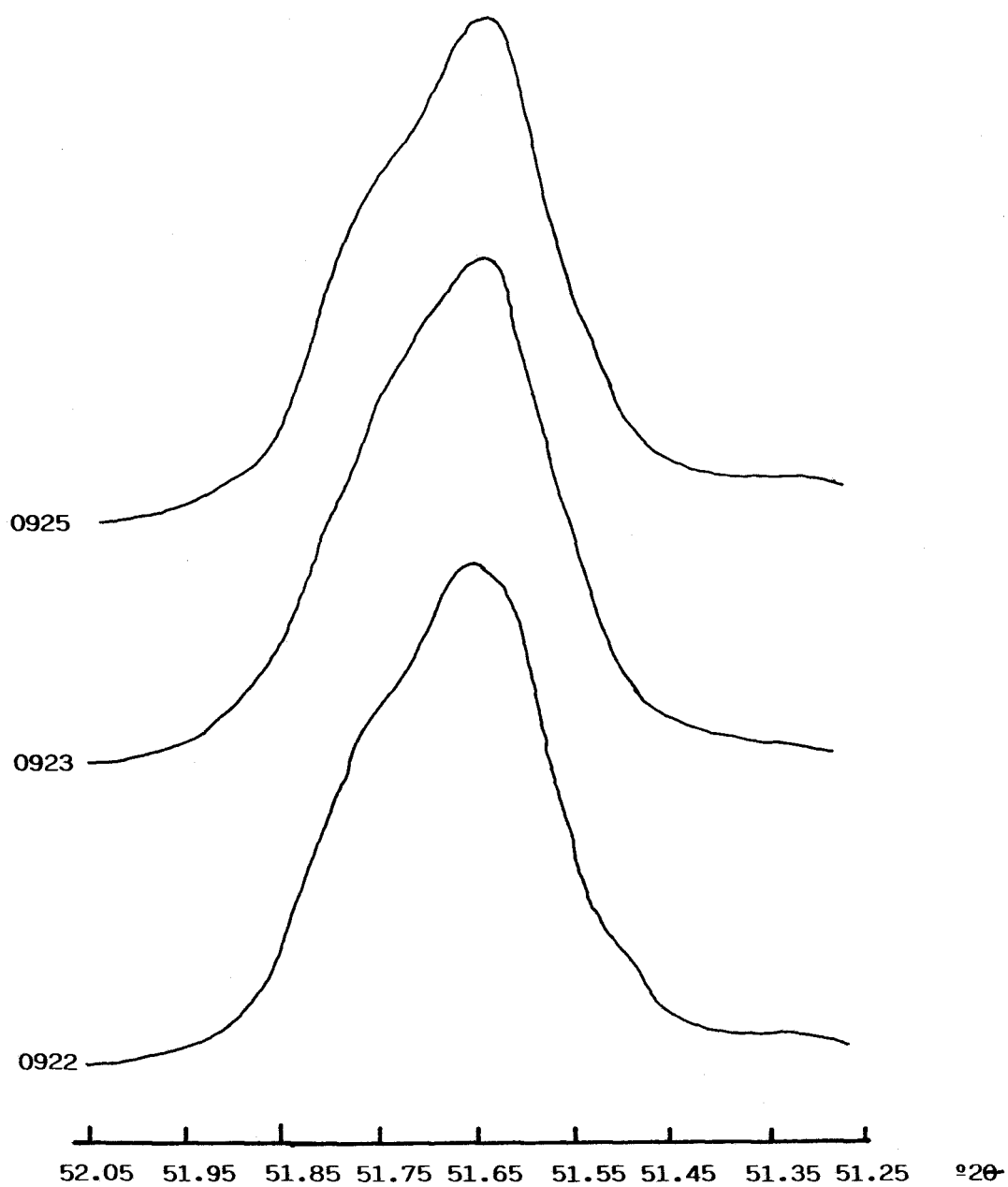


Fig. 71 Pico de DRX del plano (220) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

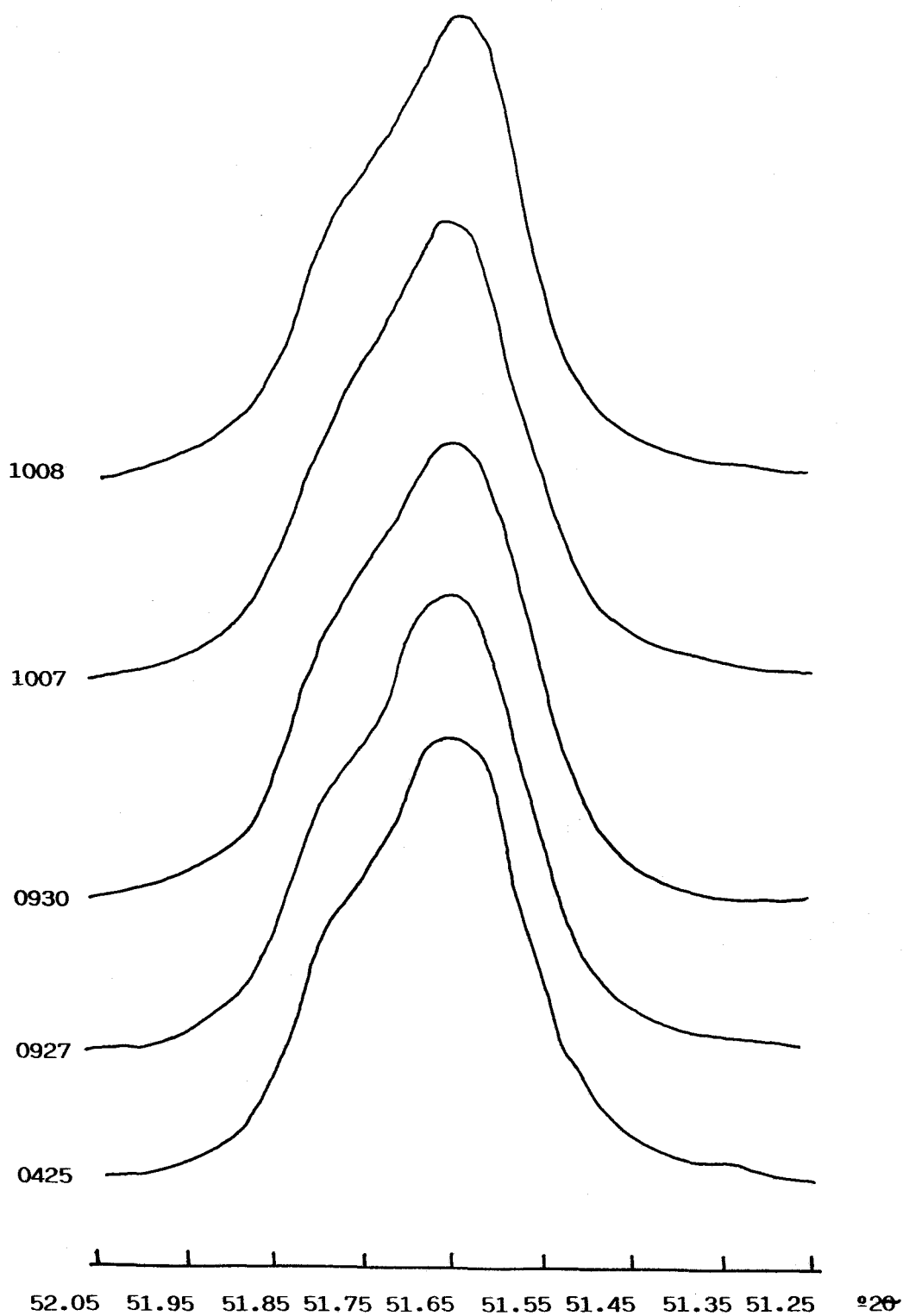


Fig. 72 Pico de DRX del plano (220) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres

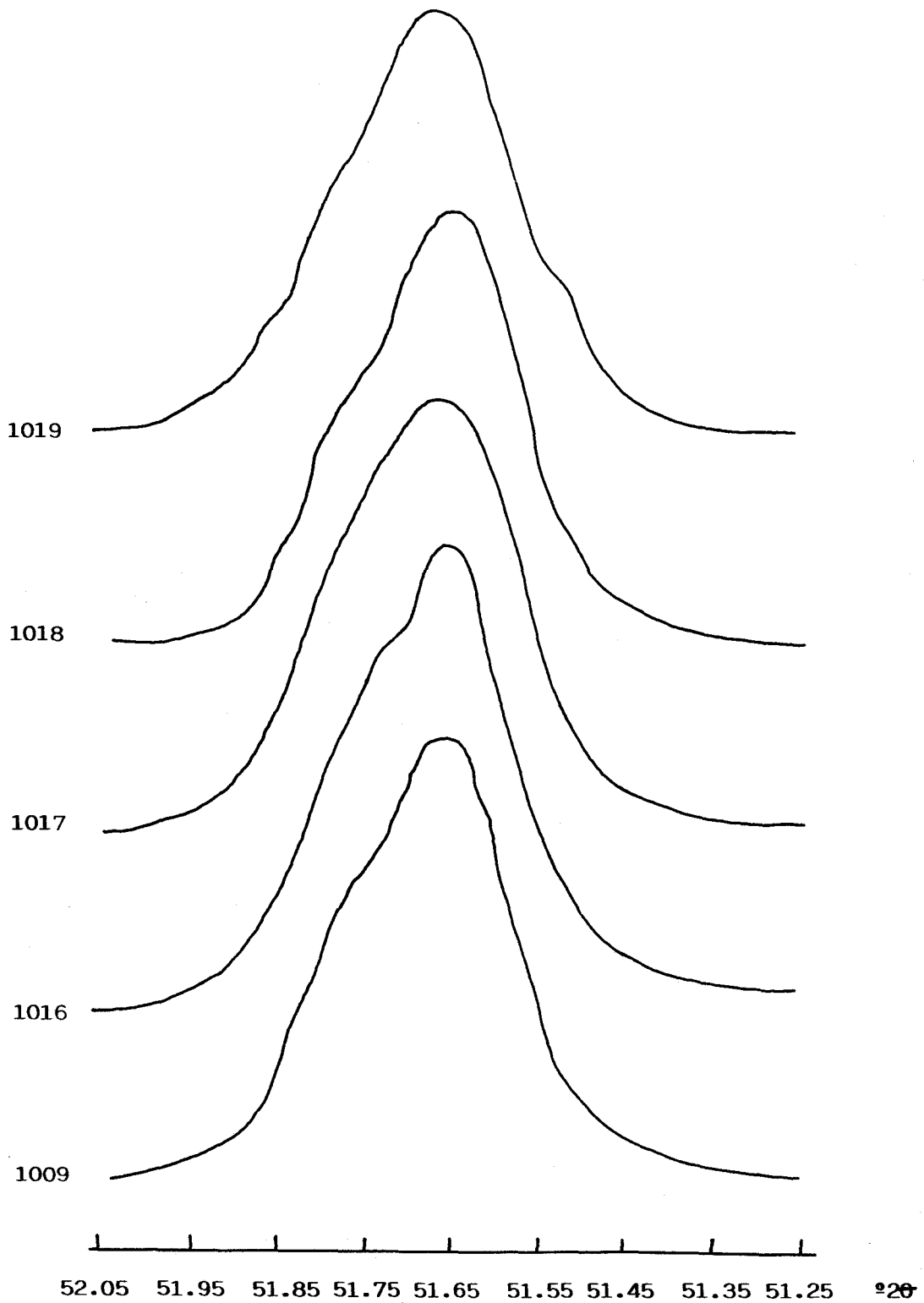


Fig. 73 Pico de DRX del plano (220) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

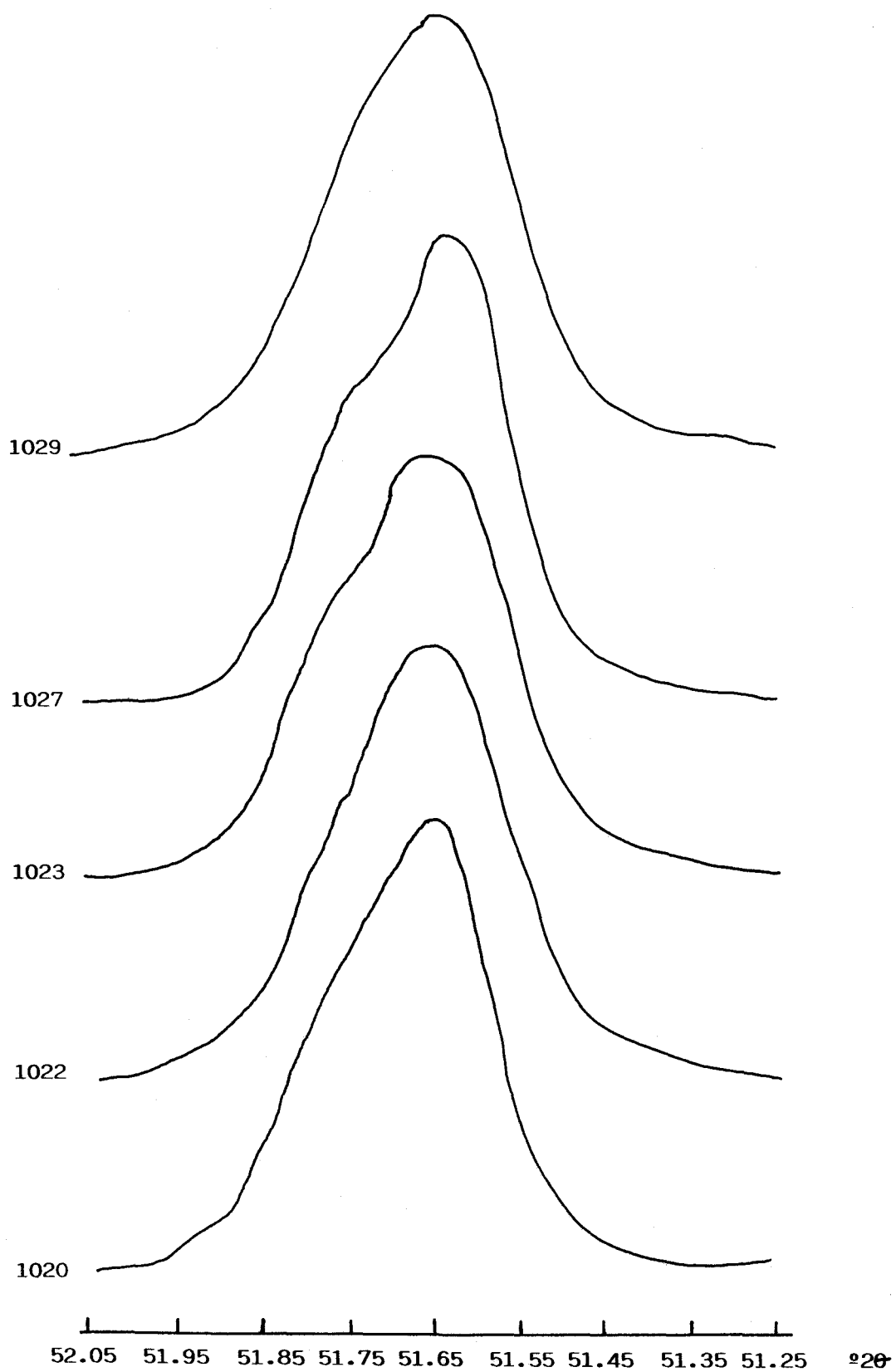


Fig. 74 Pico de DRX del plano (220) del  $C_3S$  de diversos clinkerres

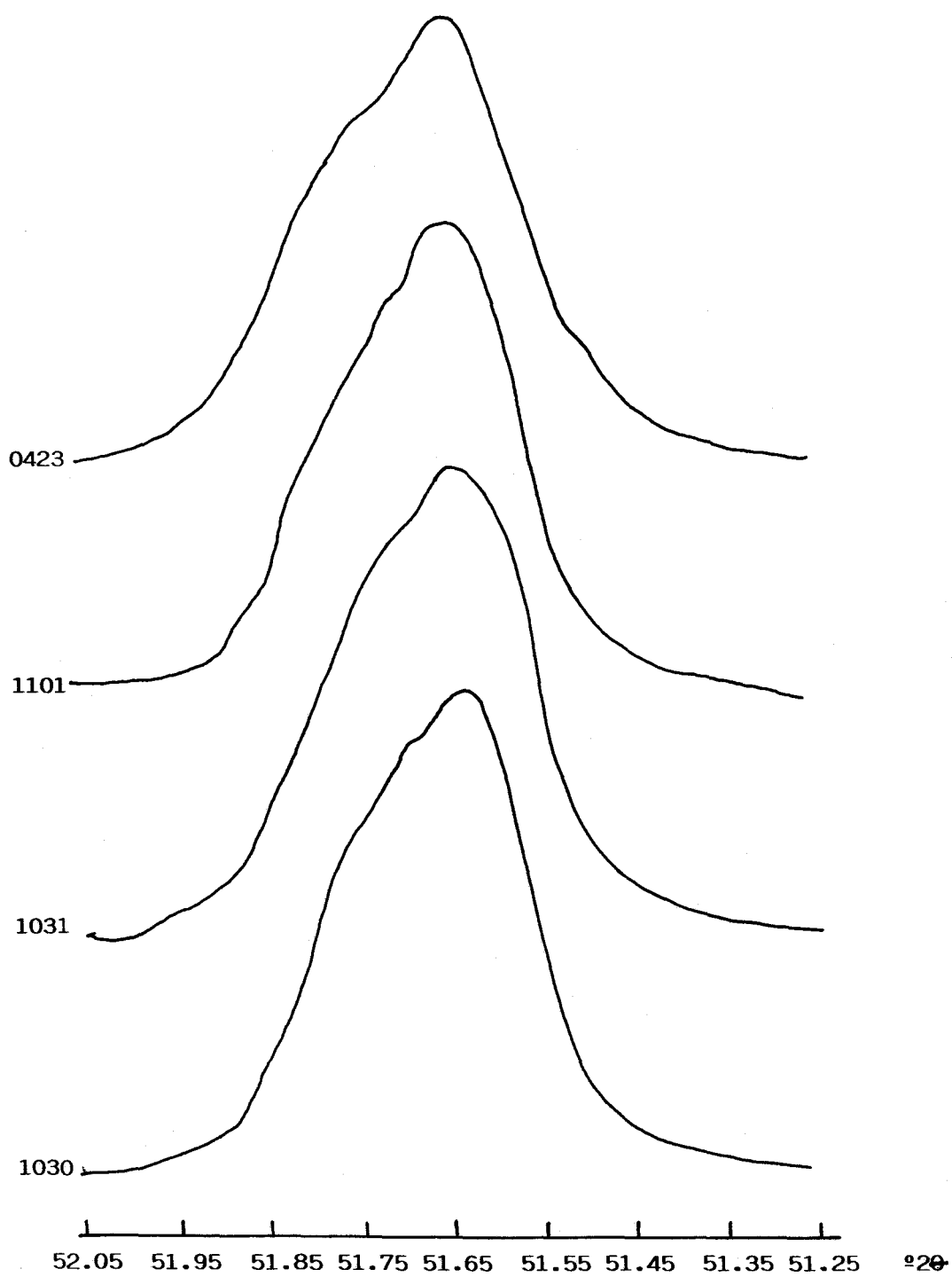


Fig. 75 Pico de DRX del plano (220) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkerres

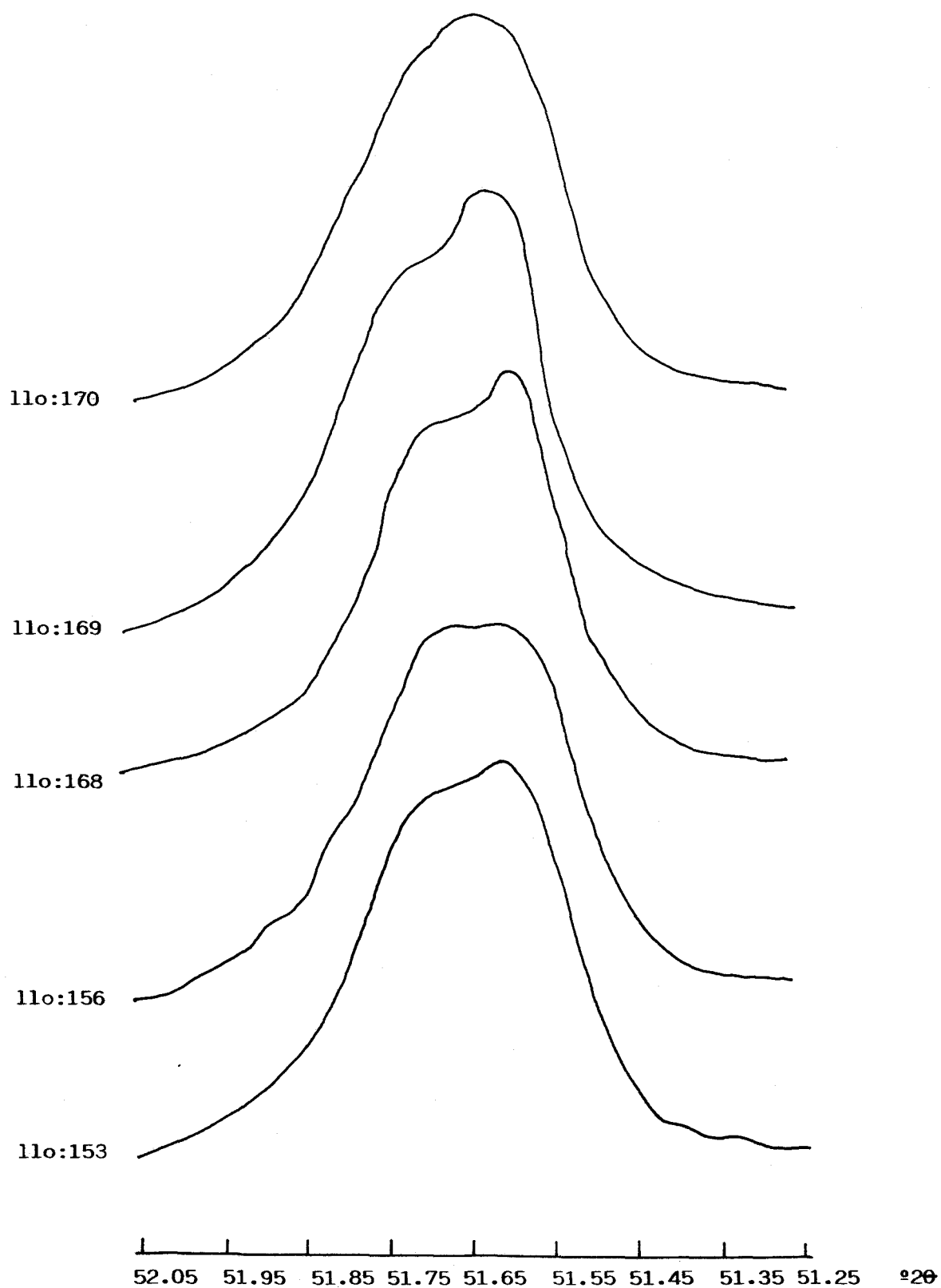


Fig. 76 Pico de DRX del plano (220) del  $C_3S$  de diversos clinkerres

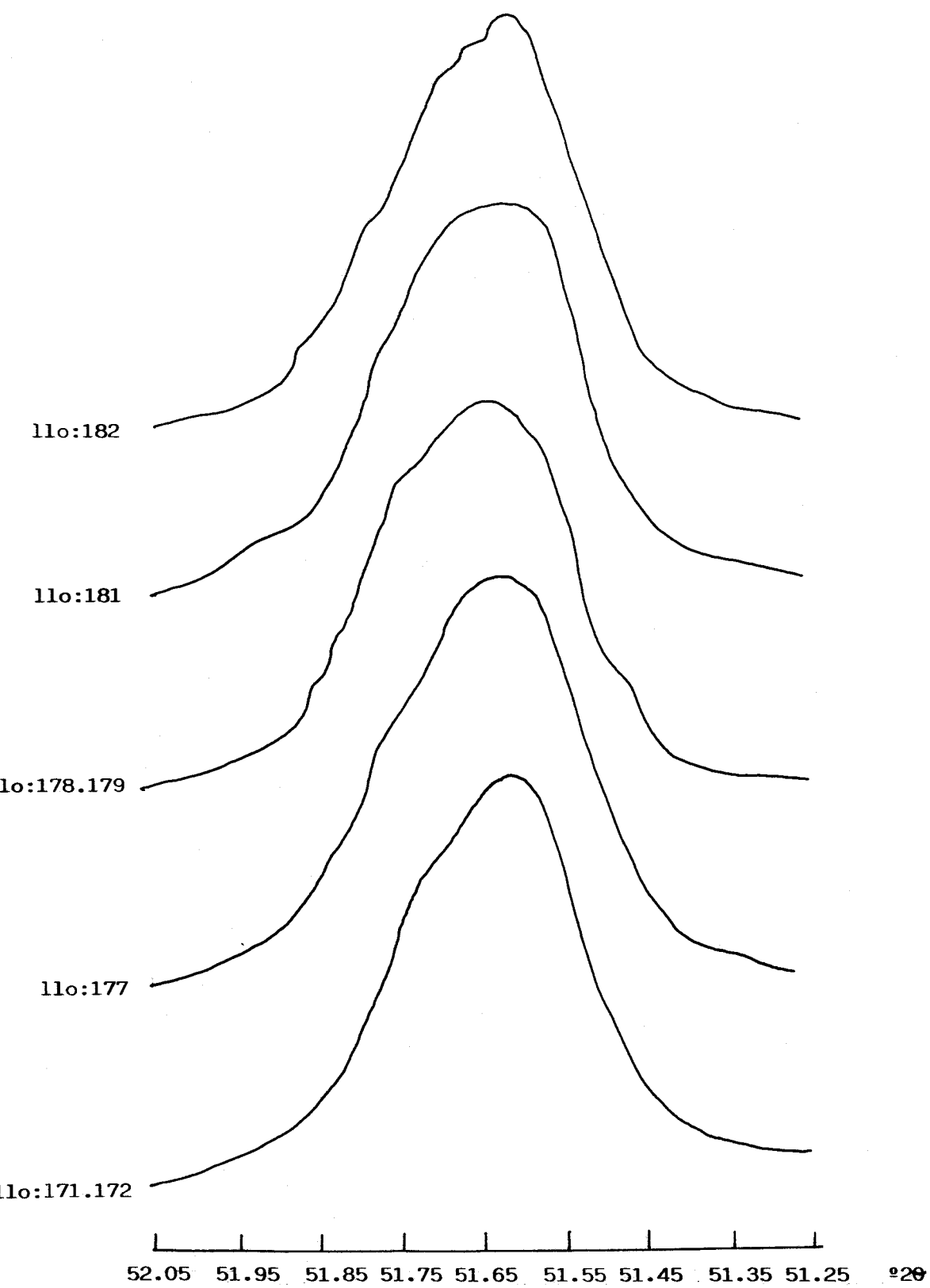


Fig. 77 Pico de DRX del plano (220) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres



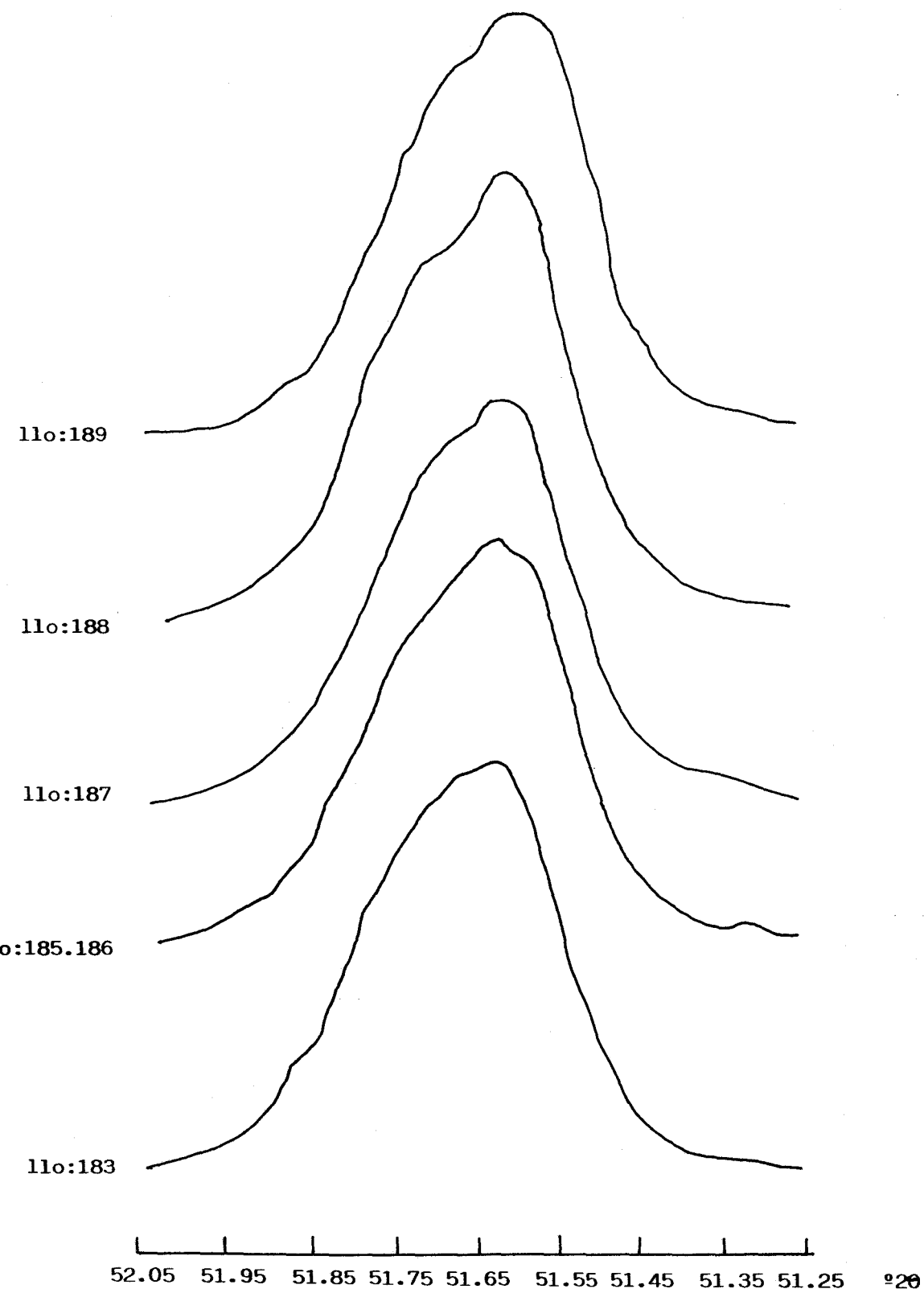


Fig. 78 Pico de DRX del plano (220) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres

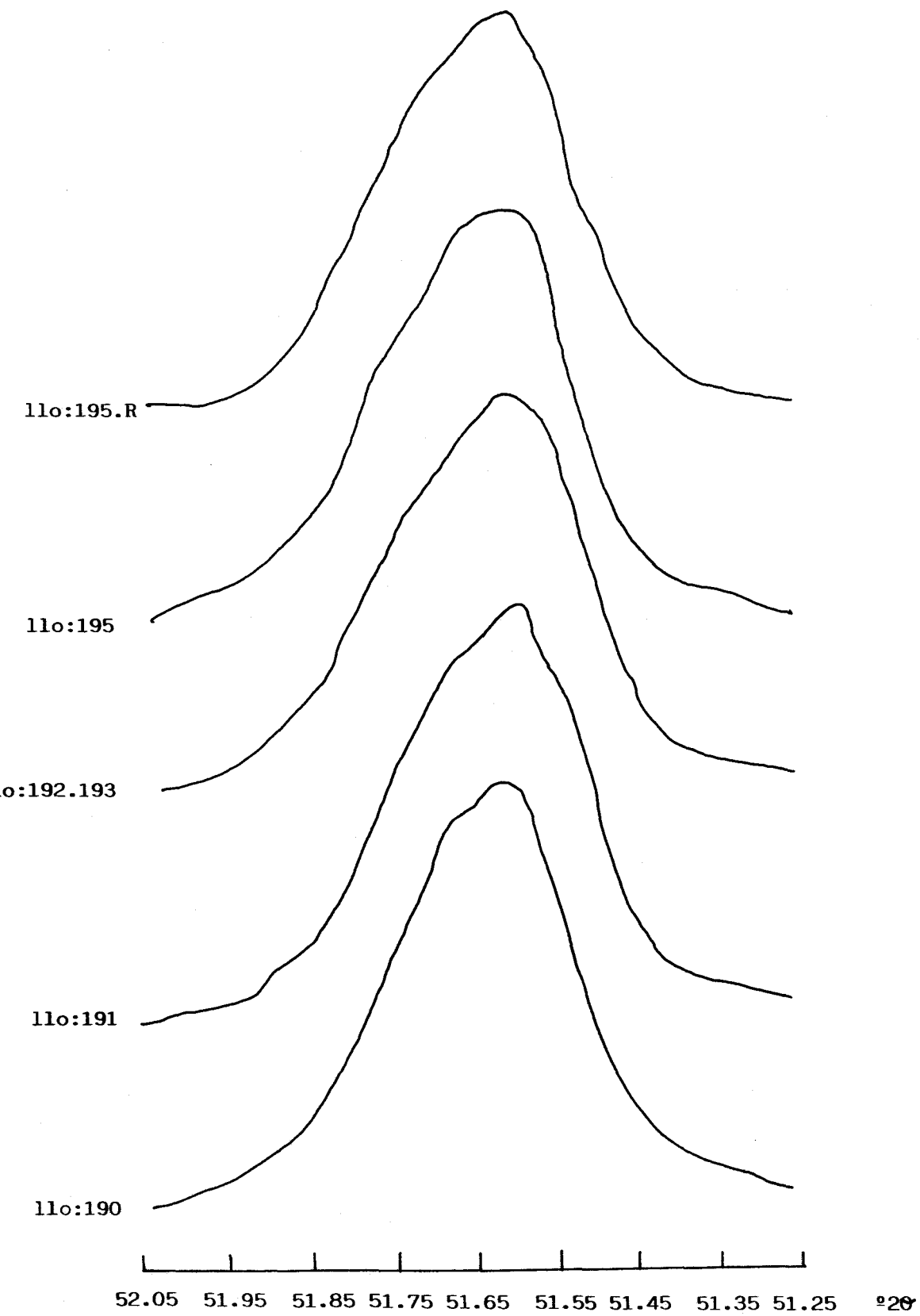


Fig. 79 Pico de DRX del plano (220) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkereres

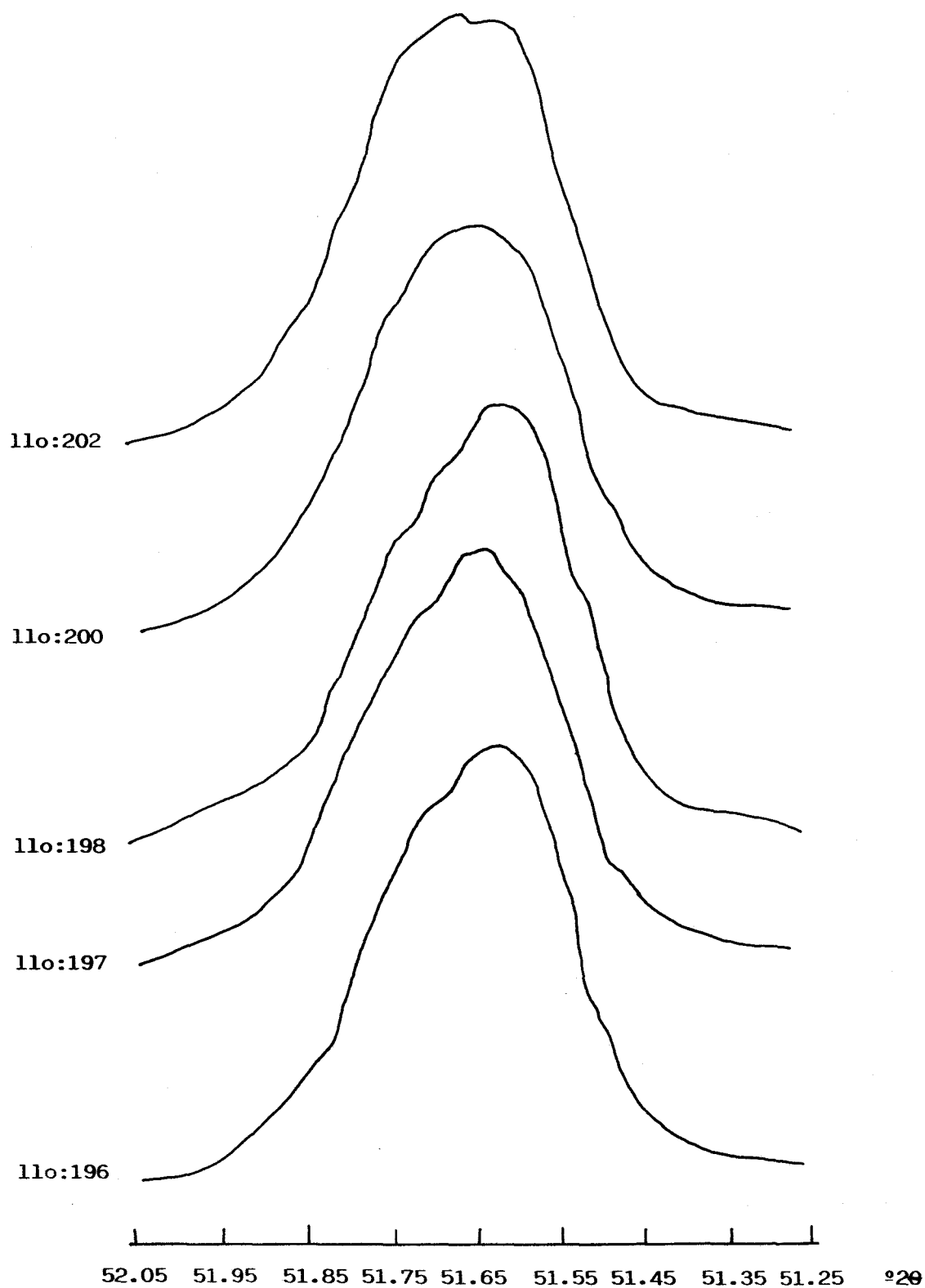


Fig. 80 Pico de DRX del plano (220) del  $C_3S$  de diversos clinkeres

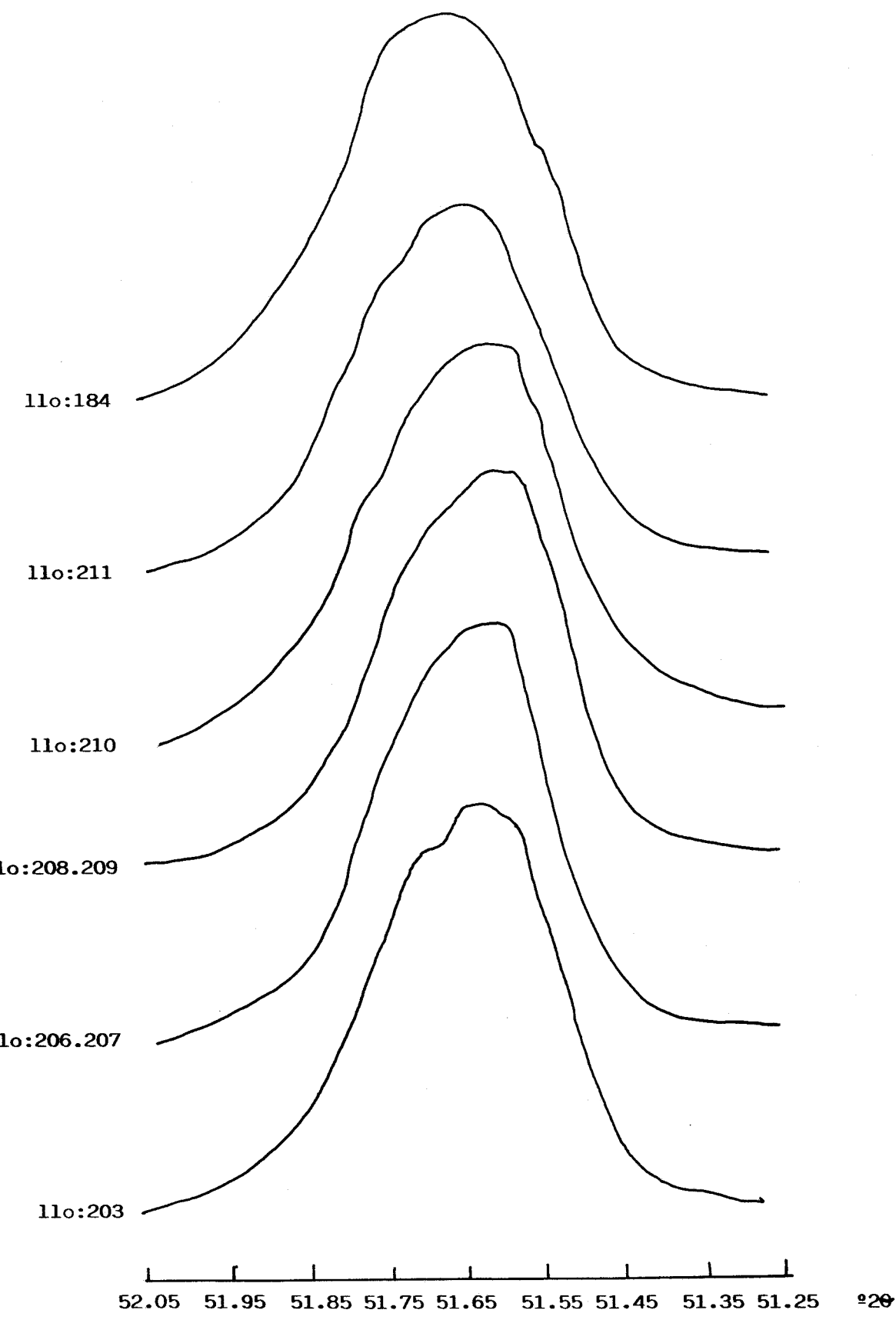


Fig. 81y82. Pico de DRX del plano (220) del C<sub>3</sub>S de diversos clinkeres

TABLA XXXI

Tamaño cristalino y microtensiones del silicato tricálcico obtenido de muestras con un 100% de marga de Alcalá de Guadaíra del total de marga.

Muestra	Mv(021)	Tv(021)	Ts(021)	Mv(220)	Tv(220)	Ts(220)
0114	2136	254	355	1494	179	706
0115	1418	343	361	1423	185	1145
0116	1787	290	351	1550	173	581
0117	1794	291	331	1509	179	406
0118	2077	261	327	1530	175	520
0119	1450	338	367	1629	167	608
0120	1627	313	314	1758	157	428
0125	1124	394	372	1446	184	706
0126	2150	254	320	1824	153	489
0127	1979	270	348	1340	194	795
0128	1486	334	351	1637	166	541
0129	942	429	382	1628	167	506
0203	1889	279	328	1916	146	314
0204	2470	230	309	1767	156	374
0205	1716	300	345	1763	156	474
0206	1651	306	351	1552	173	795
0207	1352	349	384	1521	176	706
0208	1780	291	325	1522	176	741
0209	2072	264	321	1434	187	507
0210	1473	334	355	1533	176	608
0211	2001	267	355	1503	178	706
0214	2243	246	324	1700	161	389
0215	2174	252	317	929	196	489
0216	1843	284	343	1665	164	507
0217	1910	277	332	1388	189	666
0218	1898	278	345	1601	169	507
0219	1834	286	345	1586	170	609
0223	1221	376	376	1465	182	795
0224	1525	325	355	1499	178	926
0225	1730	297	367	806	219	926
0226	1303	363	374	853	210	1776
0301	1540	321	378	1407	188	1145
0302	1566	316	374	854	210	706
0306	1236	373	396	1427	185	1034
media	1717	302	349	1484	177	680
d.s.	351	46	22	265	16	285

TABLA XXXII

Tamaño cristalino y microtensiones del silicato tricálcico obtenido de muestras con un 85% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 15% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestra	Mv(021)	Tv(021)	Ts(021)	Mv(220)	Tv(220)	Ts(220)
0426	541	553	396	1476	180	1034
0427	613	536	409	1604	169	609
media	577	544	402	1540	174	821
d.s.	50	12	9	90	7	300

TABLA XXXIII

Tamaño cristalino y microtensiones del silicato tricálcico obtenido de muestras con un 75% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 25% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestra	Mv(021)	Tv(021)	Ts(021)	Mv(220)	Tv(220)	Ts(220)
0406	1325	355	380	1414	187	1034
0407	1354	353	360	1505	177	926
0408	1611	314	355	1455	183	1034
0409	724	536	378	1448	183	1034
0410	1346	354	363	1469	181	795
0411	1128	397	374	1496	178	926
0412	1235	370	367	1503	178	1363
media	1246	382	368	1470	181	1016
d.s.	273	71	9	33	3	176

TABLA XXXIV

Tamaño cristalino y microtensiones del silicato tricálcico obtenido de muestras con un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 33% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestra	Mv(021)	Tv(021)	Ts(021)	Mv(220)	Tv(220)	Ts(220)
0418	1942	274	327	1422	186	795
0419	1287	362	365	1579	171	926
0421	1295	365	358	1429	186	1145
0422	1451	334	363	1542	174	926
0423	1785	291	351	1458	182	631
0424	846	480	361	1390	189	1034
0425	1018	418	378	1476	180	863
0927	945	436	386	1452	182	926
0930	690	528	384	1511	177	795
1007	1213	379	376	1507	177	1776
1008	808	484	378	1537	196	1776
1009	1414	346	340	1333	196	1363
1016	916	441	369	1351	194	2552
1017	885	477	386	1348	194	863
1018	1243	377	360	1447	183	1034
1019	719	519	396	1466	181	863
1020	835	464	405	1410	187	2552
1023	740	502	382	1504	178	706
1027	930	444	384	913	268	1145
1029	1290	362	376	1509	178	863
1030	876	463	386	1473	181	1145
1031	862	464	386	1456	183	926
1101	1158	391	374	1408	187	1776
media	1093	417	372	1431	187	1164
d.s.	333	71	17	129	18	538

TABLA XXXV

Tamaño cristalino y microtensiones del silicato tricálcico obtenido de muestras con un 50% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 50% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestra	Mv(021)	Tv(021)	Ts(021)	Mv(220)	Tv(220)	Ts(220)
0318	1280	369	367	1793	155	1034
0319	1584	318	360	1383	190	926
0321	1429	340	372	1534	172	1145
0322	1497	330	372	1598	170	631
0323	1649	310	346	1542	173	666
812	1380	349	365	1437	185	795
0817	1162	389	372	1377	191	863
0819	1247	376	355	1582	170	926
0821	1546	321	351	1384	190	1145
0830	1307	366	363	1414	187	---
0831	1495	332	351	1418	187	926
0904	1126	404	365	1422	186	1145
0910	1001	420	399	1440	184	926
0915	1015	427	390	1538	175	795
0917	1760	293	358	1596	169	706
0922	960	430	388	1456	182	1034
0923	911	456	384	1402	189	1363
0925	803	482	388	1471	181	1776
media	1286	370	369	1487	179	988
d.s.	277	54	15	107	9	280

TABLA XXXVI

Tamaño cristalino y microtensiones del silicato  
tricálcico obtenido de muestras con marga de Lloseta.

Muestra	Mv(021)	Tv(021)	Ts(021)	Mv(220)	Tv(220)	Ts(220)
153	2254	246	310	1629	167	557
156	2209	249	319	1546	175	557
168	1627	315	331	137	176	795
169	1976	271	331	1506	179	706
170	1713	303	363	1641	166	541
171	2029	265	345	1484	181	795
179	2142	255	335	1521	177	581
181	1892	278	345	1516	178	581
182	2034	265	350	1611	169	631
183	2134	257	318	1590	171	581
184	2386	235	310	1687	162	507
186	2031	265	348	1530	176	631
187	2524	225	303	1582	171	706
188	2204	250	327	1401	189	1145
189	1995	268	336	1522	176	666
190	1635	313	336	1446	183	741
191	1785	290	353	1472	182	666
193	1590	317	350	1632	167	631
195	1291	367	314	1569	173	631
196	1745	299	327	1470	181	706
197	1682	305	348	1530	176	706
198	1526	326	362	1648	165	609
199	1726	301	334	1520	177	581
202	1930	276	336	1607	169	631
203	2258	245	325	1647	166	631
207	2228	248	331	1572	172	926
209	1960	274	320	1472	182	706
210	1400	348	360	1612	168	631
211	2130	256	332	1754	157	557
media	1932	279	331	1560	173	666
d.s.	300	34	16	78	7	128



Independientemente del plano considerado se observa que a medida que disminuyen los tamaños cristalinos aumenta el contenido de microtensiones, es decir, existe una correlación inversa entre ambas magnitudes, de acuerdo con lo observado por otros autores (109), que explican dicho comportamiento considerando el efecto, importante, de las fronteras de grano sobre el ensanchamiento de los picos de difracción de rayos X. En la figura 83 se representa el contenido de microtensiones en función del tamaño cristalino para los planos (021) y (220) del silicato tricálcico,  $C_3S$ , correspondiente al clinker obtenido empleando como marga la de Alcalá de Guadaira .

Por otra parte, y, de acuerdo con lo dicho en un apartado anterior, las distintas definiciones de tamaño cristalino hacen que no sea estrictamente correcto comparar los valores de este parámetro si se obtuvieron empleando diferentes métodos. No obstante, la representación de los tamaños cristalinos que se obtienen por el método de la varianza frente a los obtenidos por el procedimiento de Stokes (fig. 84) pone de manifiesto un elevado grado de correlación entre ambos.

Con independencia de las puntualizaciones anteriores, los tamaños cristalinos correspondientes a las muestras de la serie Alcalá de Guadaira-Morón de la Frontera y a las de Lloseta son del mismo orden. En la figura 85 se representan los valores medios de dichos parámetros en función del tipo de marga empleado. Son valores bajos, en especial los correspondientes a clinkers que emplearon en su obtención marga de Lloseta.

En las tablas XXXVII a la XLII se muestran los valores de las resistencias a la flexotracción y compresión a 1, 3, 7 y 28 días de los morteros normalizados correspondientes a las muestras objeto de estudio en la presente tesis.

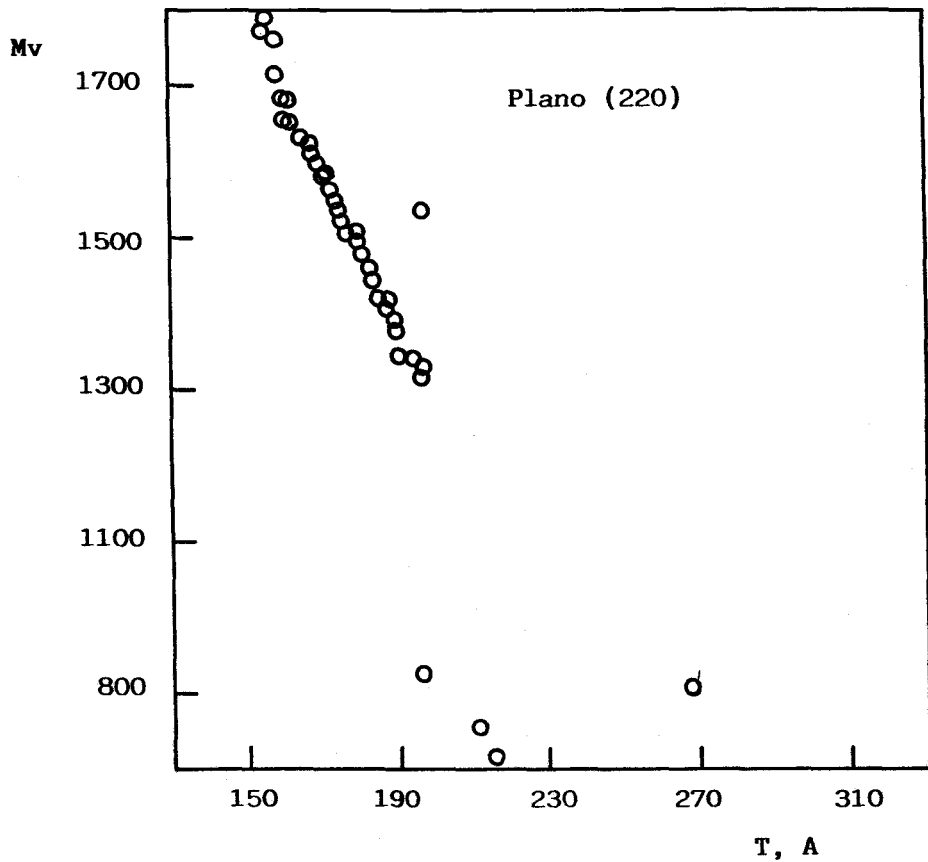
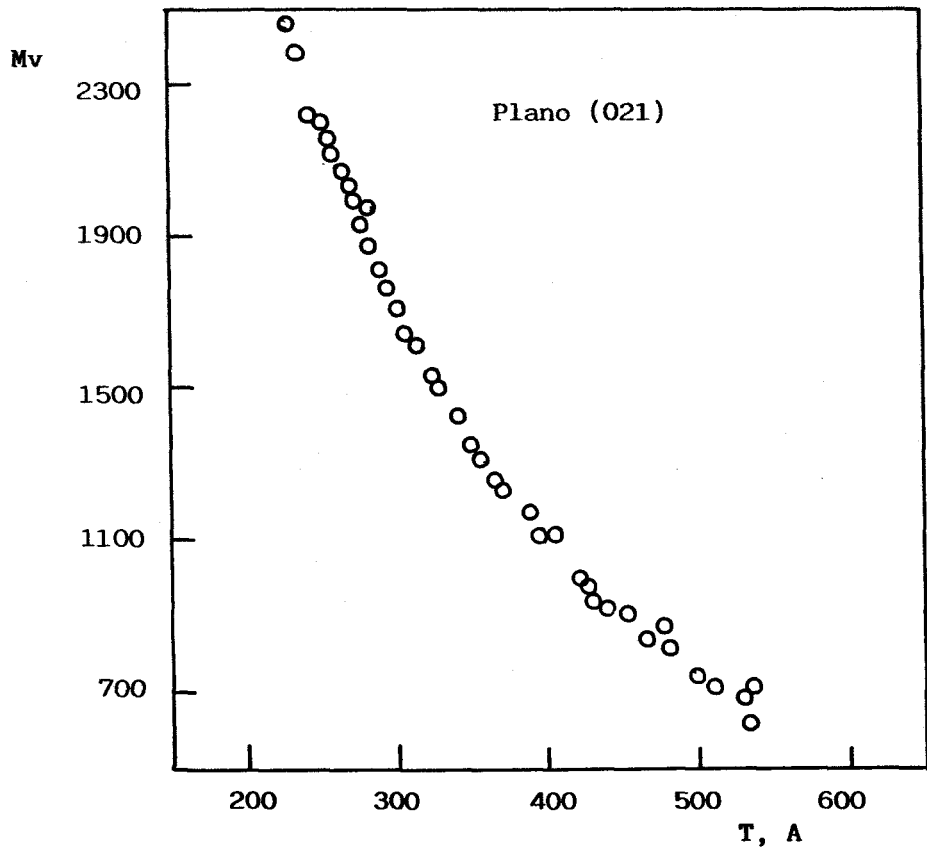
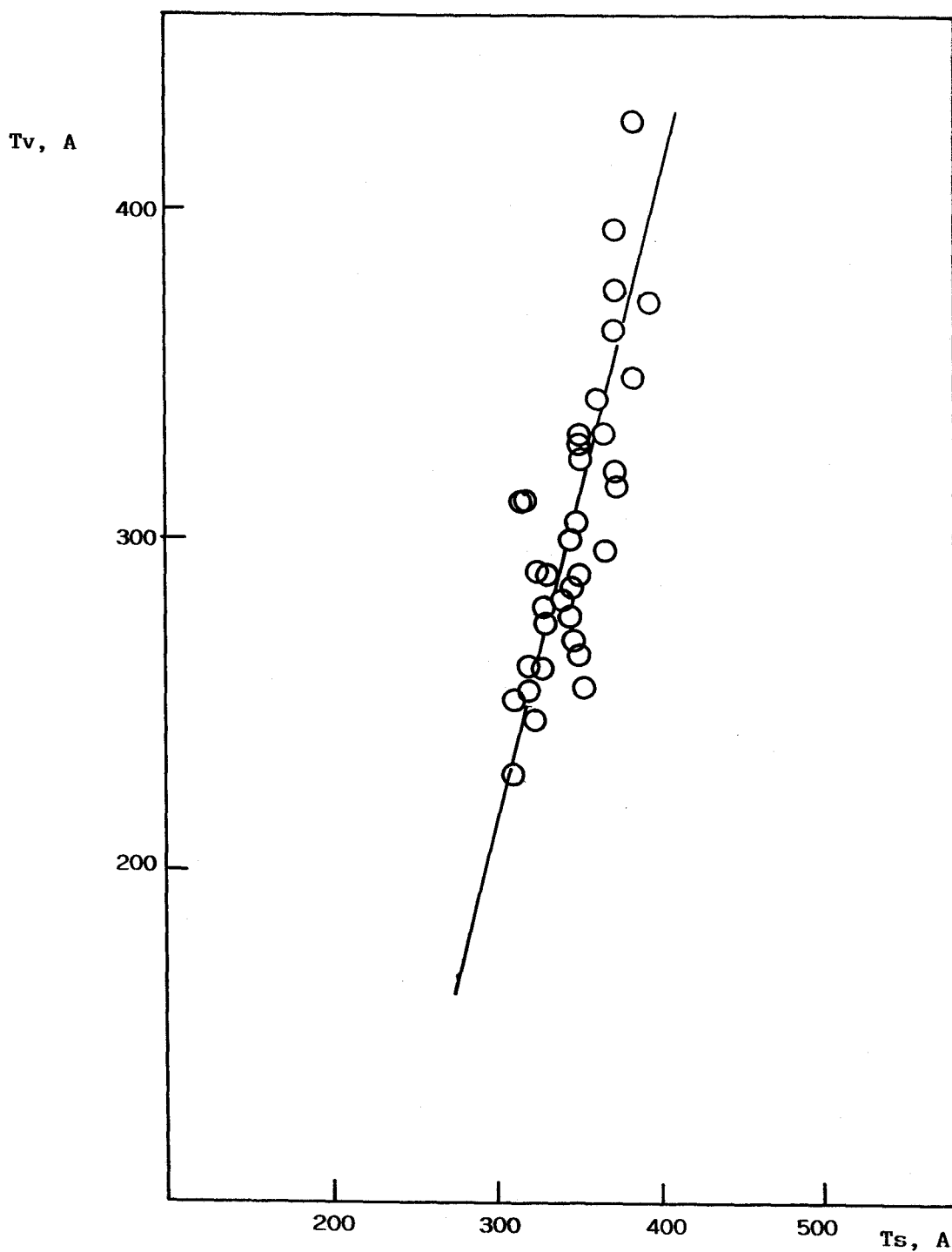


Fig. 83 Contenido de microtensiones de la alita en función de su tamaño cristalino para diversos planos cristalográficos del  $C_3S$  correspondiente a clinker obtenidos empleando como única marga la de Alcalá de Guadaíra.



g. 84 Tamaño cristalino de la alita según el plano (021) obtenido por el procedimiento de la varianza (102) en función del obtenido por el procedimiento de Stokes (91), para muestras correspondientes a clinker obtenidos empleando como única marga la de Alcalá de Guadaira.

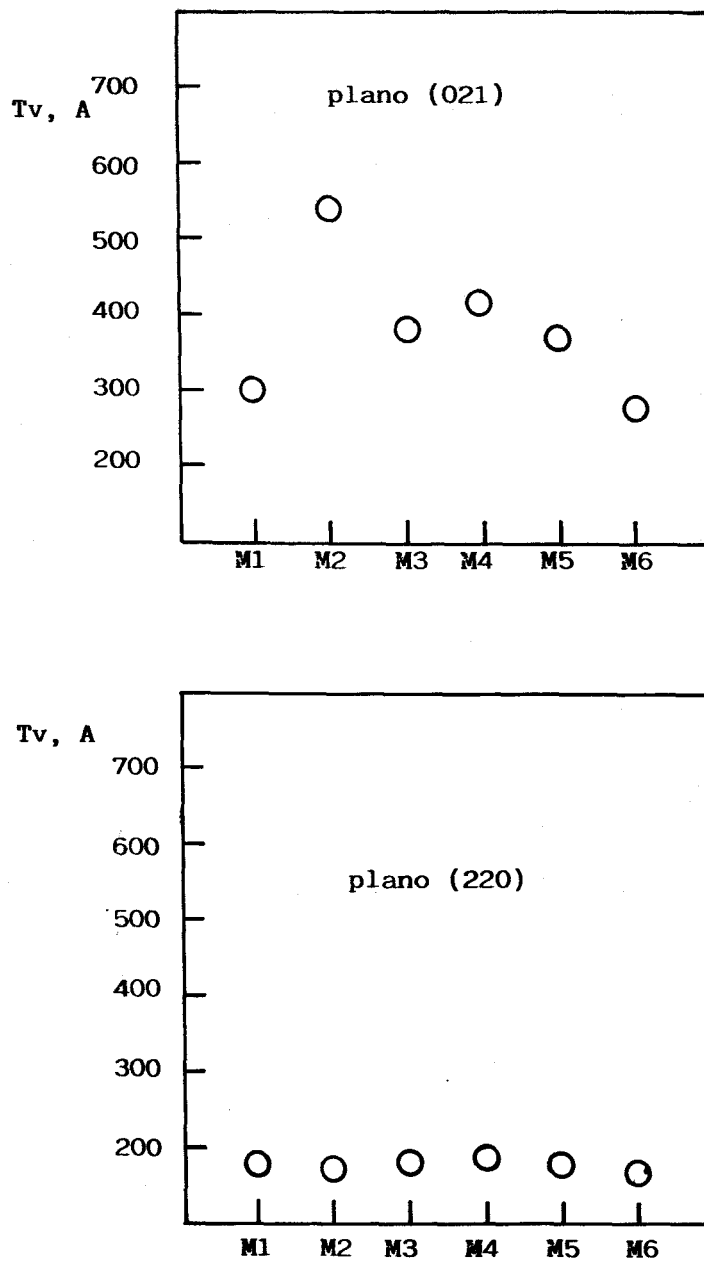


fig. 85

Tamaño cristalino medio de la alita según los planos (021) y (220) en función del tipo de marga empleado en la elaboración del clinker. M1=100% marga de Alcalá de Guadaíra; M2= 85% de A. de G. y resto de Morón de la Frontera; M3=75% de A. de G. y 25% de M. de la F.; M4=67% de A. de G. y 33% de M. de la F.; M5=50% de A. de G. y 50% de M. de la Frontera; M6= marga de Lloseta.

TABLA XXXVII

Resistencias a la flexotracción (F) y a la compresión (C) (Kg/cm<sup>2</sup>) de los morteros normalizados a 1, 3, 7 y 28 días correspondientes a las muestras con un 100% de marga de Alcalá de Guadaíra del total de marga.

Muestra		1 día	3 días	7 días	28 días
0114	F	-	48	70	90
	C	-	308	426	570
0115		28 121	-	81 512	92 610
0116		-	52 324	76 483	90 610
0117		26 117	57 334	79 476	99 617
0118		28 127	56 327	71 471	99 617
0119		29 131	56 356	81 504	92 642
0120		28 122	57 351	75 498	85 609
0125		25 115	53 331	74 495	88 625
0126		30 128	55 318	78 482	89 611
0127		29 124	58 337	82 520	91 638
0128		28 131	-	72 497	85 632
0129		29 134	-	69 460	93 644
0203		25 114	50 312	63 415	82 527
0204		24 110	-	71 444	85 595
0205		23 107	-	77 484	91 616
0206		-	-	75 501	91 641
0207		26 106	49 284	72 458	90 617
0208		28 116	57 309	73 427	85 594

TABLA XXXVII (term.)

Muestra		1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
0209	F	25	55	75	90
	C	114	296	490	622
0210		24	56	75	93
		100	302	473	633
0211		30	-	78	90
		136	-	505	538
0214		27	-	73	90
		125	-	417	622
0215		27	61	73	90
		124	375	502	634
0216		26	52	64	83
		121	318	435	598
0217		28	52	71	85
		134	322	451	613
0218		28	-	77	88
		138	-	487	609
0219		-	-	64	88
		-	-	452	591
0223		-	-	66	88
		-	-	428	594
0224		27	-	72	-
		128	-	494	-
0225		-	-	72	85
		-	-	433	566
0226		-	-	72	-
		-	-	433	-
0301		27	58	80	97
		123	297	459	587
0302		28	-	70	93
		122	-	390	575
0306		-	62	75	95
		-	377	476	625
media		27	54	73	89
		121	325	467	606
d.s.		1	3	4	4
		9	25	33	28

TABLA XXXVIII

Resistencias a la flexotracción (F) y a la compresión (C) (Kg/cm<sup>2</sup>) de los morteros normalizados a 1, 3, 7 y 28 días correspondientes a las muestras con un 85% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 15% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestra		1 día	3 días	7 días	28 días
0426	F	38	68	-	98
	C	165	393	-	603
0427		34	-	-	100
		146	-	-	641
media		36	68	-	99
		155	393	-	622
d.s.		2	0		1
		7	0		26

TABLA XXXIX

Resistencias a la flexotracción (F) y a la compresión (C) (Kg/cm<sup>2</sup>) de los morteros normalizados a 1, 3, 7 y 28 días correspondientes a las muestras con un 75% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 25% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestra		1 día	3 días	7 días	28 días
0406	F	35	60	80	92
	C	157	353	485	599
0407		36	66	80	99
		168	363	469	613
0408		34	-	76	99
		156	-	483	618
0409		36	-	80	102
		164	-	503	644
0410		-	76	85	-
		-	433	549	-
0411		40	69	80	98
		179	373	500	609
0412		43	70	81	98
		186	380	507	594
media		37	68	80	98
		168	380	500	612
d.s.		3	5	2	3
		12	31	25	17

TABLA XL

Resistencias a la flexotracción (F) y a la compresión (C) (Kg/cm<sup>2</sup>) de los morteros normalizados a 1, 3, 7 y 28 días correspondientes a las muestras con un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 33% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestra		1 día	3 días	7 días	28 días
0418	F	38	71	81	98
	C	196	397	517	629
0419		36	71	84	101
		181	403	531	647
0421		45	-	90	97
		221	-	516	621
0422		44	-	92	99
		216	-	523	642
0423		32	-	-	98
		154	-	-	616
0424		-	68	84	100
		-	398	468	606
0425		40	72	-	98
		197	418	-	603
0927		42	72	90	94
		225	454	553	620
0930		46	-	88	98
		240	-	563	682
1007		40	65	84	89
		205	446	538	613
1008		38	-	80	98
		204	-	539	655



TABLA XL (Cont.)

Muestra	1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
1009	42 208	73 457	84 545	96 636
1016	38 167	56 347	74 435	92 619
1017	- -	65 420	74 517	90 641
1018	40 201	66 414	86 522	93 614
1019	41 204	72 438	89 564	96 620
1020	36 194	68 420	82 503	92 600
1023	38 200	80 440	82 542	96 654
1027	37 180	73 405	82 504	97 633
1029	37 178	74 401	80 480	90 580
1030	42 202	72 399	83 507	93 611
1031	38 191	68 398	80 476	90 600
1101	43 208	68 395	82 467	90 600
media	39 198	69 413	83 514	95 623
d.s.	3 19	5 26	4 34	3 22

TABLA XLI

Resistencias a la flexotracción (F) y a la compresión (C) (Kg/cm<sup>2</sup>) de los morteros normalizados a 1, 3, 7 y 28 días correspondientes a las muestras con un 50% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 50% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Muestra	1 día	3 días	7 días	28 días
0318	F -	70	88	100
	C -	420	525	620
0319	47 253	-	-	101 630
0321	43 175	-	79 480	95 599
0322	44 195	-	81 495	98 615
0323	42 200	68 395	80 485	95 590
0812	36 186	-	80 521	94 624
0817	41 212	64 433	89 553	98 662
0819	43 241	-	80 536	95 619
0821	-	68 423	82 509	92 605
0830	38 183	62 407	80 501	96 603
0831	42 219	71 450	88 524	98 675
0904	-	85 473	88 528	94 624
0910	45 256	77 508	90 563	96 672
0915	39 185	70 387	85 491	93 609
0917	45 215	82 486	86 519	98 660
0922	45 237	68 435	82 543	-
0923	46 244	73 439	88 565	96 646
0925	39 190	68 385	75 471	90 597
media	42 212	71 433	83 518	95 626
d. s.	3 27	6 38	4 28	2 27

TABLA XLII

Resistencias a la flexotracción (F) y a la compresión (C) ( $\text{Kg/cm}^2$ ) de los morteros normalizados a 1, 3, 7 y 28 días correspondientes a las muestras con marga de Lloseta.

Muestra		1 día	3 días	7 días	28 días
153	F	45	71	87	99
	C	227	419	488	632
156		40	62	82	101
		213	370	519	605
168		46	65	76	85
		220	364	457	571
169		45	66	74	88
		202	353	440	571
170		44	65	75	93
		192	363	453	598
171		41	65	86	87
		206	363	479	602
179		39	63	75	86
		213	353	446	584
181		41	64	73	87
		192	346	440	574
182		38	57	74	87
		199	363	470	572
183		37	58	74	89
		185	363	433	618
184		32	62	72	80
		168	353	446	588
186		39	64	81	90
		178	349	467	584
187		44	65	78	87
		220	398	484	591
188		44	69	75	93
		254	429	526	635
189		49	73	88	90
		275	474	550	658

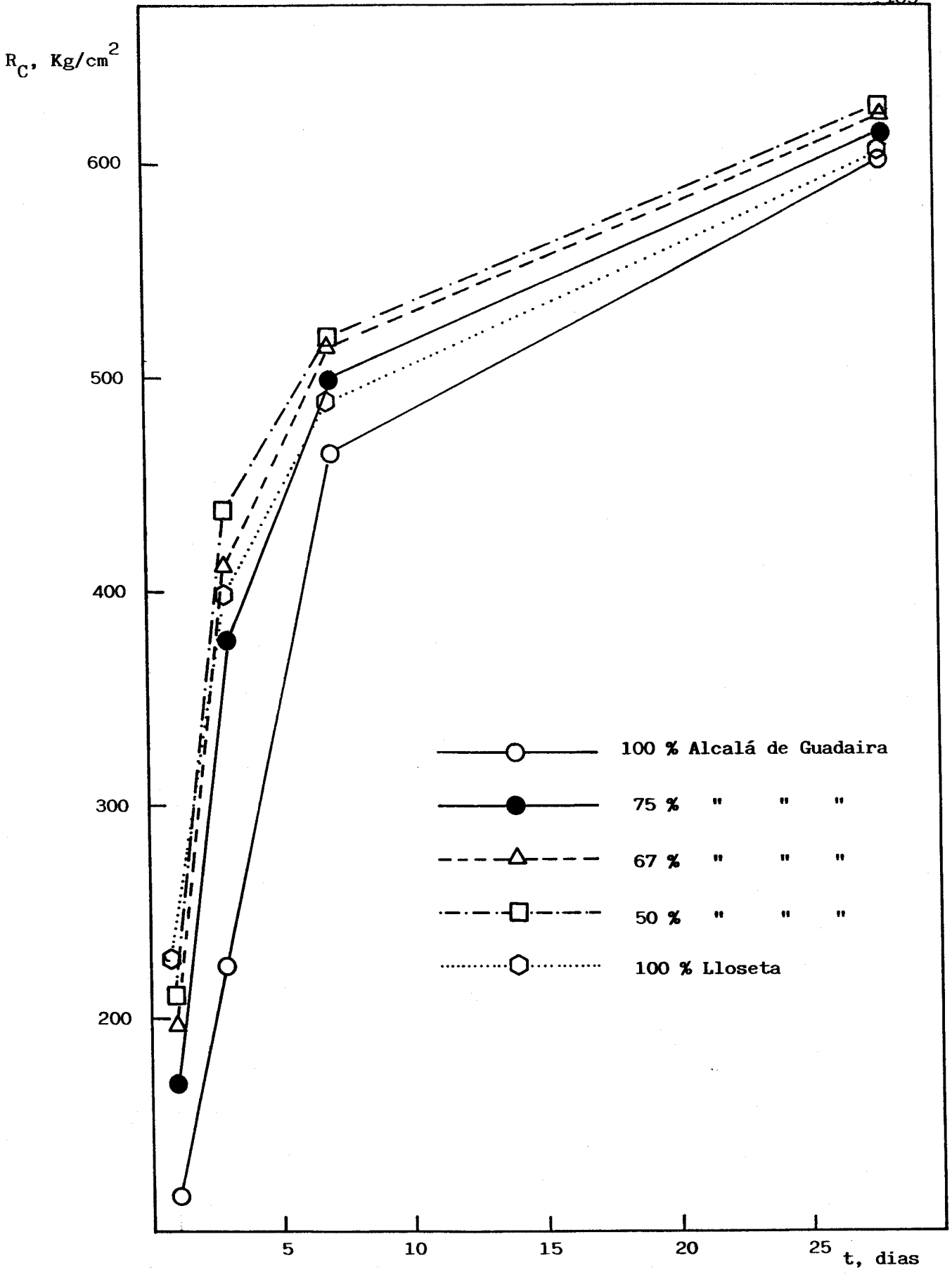
TABLA XLII (Term.)

Muestra		1 dia	3 dias	7 dias	28 dias
190	F	53	76	86	93
	C	326	486	533	651
191		58 299	72 481	91 564	94 663
193		50 220	72 387	84 509	95 621
195		62 305	77 470	84 550	94 618
196		53 254	73 464	83 536	101 638
197		60 282	79 424	81 491	99 612
198		48 240	67 419	71 453	93 612
199		47 213	72 356	80 440	102 571
202		41 192	71 384	84 512	96 625
203		54 220	69 422	82 509	97 625
207		49 223	72 419	84 502	96 578
209		52 234	74 405	84 495	95 584
210		49 240	72 408	81 529	94 602
211		43 209	62 380	75 484	89 584
media		46 227	68 398	80 498	92 605
d.s.		7 38	5 43	5 38	5 27

De acuerdo con los datos de las tablas XXXVII a la XLII las resistencias a la flexotracción y a la compresión de los morteros aumentan con el tiempo, alcanzando a los 28 días de envejecimiento valores muy por encima de lo exigido por las normas españolas establecidas.

La resistencia a la flexotracción es en todos los casos bastante menor que la resistencia a la compresión. La relación resistencia a la compresión / resistencia a la flexotracción va desde un valor próximo a 4 a un día hasta un valor algo superior a 6 a los 28 días.

En las figuras 86-a y 86-b se representan las resistencias medias frente al tiempo y para cada tipo de marga empleado en la mezcla para el clinker. De acuerdo con las gráficas de las figuras 86-a y 86-b es de esperar que las resistencias de los morteros aumenten aún significativamente con el tiempo.



g. 86-a

Resistencia media a la compresión del mortero normalizado, en función del envejecimiento del mismo, para diversas margas empleadas en la elaboración del clinker.

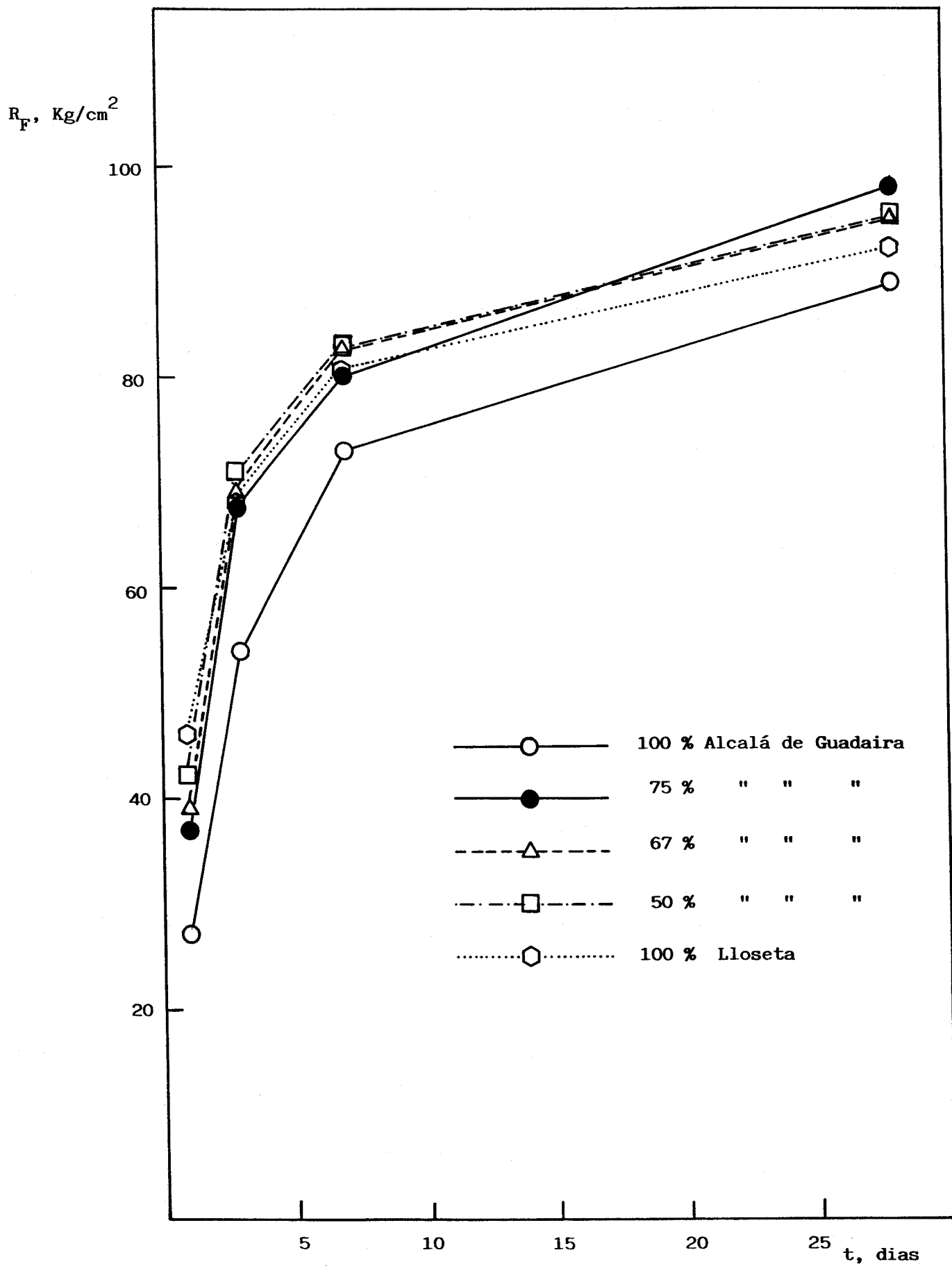


Fig. 86-b

Resistencia media a la flexotracción del mortero normalizado, en función del envejecimiento del mismo, para diversas margas empleadas en la elaboración del clinker.

## 6.1 REGRESION LINEAL MULTIPLE

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos cuando se aplica un algoritmo estadístico de Regresión Lineal Múltiple (Programa PIR del BMDP del VAX de la Universidad de Sevilla) empleando las resistencias a la flexotracción y a la compresión como variables dependientes y  $SO_3$ ,  $C_3S$ ,  $C_2S$ ,  $C_3A$  ( en el caso de marga de Lloseta),  $C_4AF$ ,  $C_2F$  (exceptuando el caso de muestras con marga de Lloseta),  $CaO$  libre,  $MS$ ,  $MF$ ,  $SC$ ,  $FC$ ,  $S.Blaine$ , Microtensiones y Tamaño cristalino según el plano (220) del  $C_3S$  como variables independientes.

El listado de salida del BMDP1R es muy extenso y completo incluyendo la media, la desviación estándar, el coeficiente de variación, el valor máximo y mínimo, la matriz de covarianza, la matriz de correlación, el coeficiente de correlación y el de determinación múltiple, así como los coeficientes de regresión.

De los resultados anteriores nos interesan de una manera especial, y por ello sólo se incluyen en la presente memoria, los coeficientes de regresión (que definen el hiperplano de regresión ) y el coeficiente de correlación múltiple cuya distancia de la unidad indica el porcentaje de definición de la variable dependiente ( que en este caso es la resistencia del material a la flexotracción o a la compresión ) que no ha sido cubierto por las variables independientes propuestas. En el apéndice se muestra, la salida completa correspondiente a las muestras con un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 33% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

En las tablas XLIII a la XLVII se muestran los resultados a los que nos hemos referido en el párrafo anterior para cada una de las muestras objeto de estudio en la presente memoria. Se excluyen, en algunos casos, aquellas variables independientes cuya inclusión reduciría la tolerancia de otra ya incluida.



TABLA XLIII

Análisis de regresión lineal múltiple. Coeficientes de regresión correspondientes a muestras con un 100% de marga de Alcalá de Guadaíra del total de marga.

Var. ind.		1 día	3 días	7 días	28 días
SO <sub>2</sub>	F	1,222	-	-11,285	0,206
	C	0,113	22,532	-74,291	-56,900
C <sub>3</sub> S		-	0,192	-	3,529
		-0,307	15,079	-	-
C <sub>2</sub> S		0,012	-	0,087	-
		-	16,589	0,139	-
C <sub>4</sub> AF		1,698	1,370	0,266	0,059
		-12,188	2,514	-18,227	-
C <sub>2</sub> F		-	-	-	-
		-	10,770	-22,015	-8,353
Cal libre		-	-	-	15,706
		-	-	-	-1,005
MS		-	-14,274	22,735	77,195
		-	-	-	-155,439
MF		-54,260	-3,434	6,326	-2,524
		101,977	-14,800	17,921	10,424
SC		-0,969	-2,075	1,958	-
		0,232	-	14,590	-1,238
FC		0,673	3,094	-1,626	-7,640
		-3,740	-	-12,685	13,430
S. Blaine		0,008	0,002	0,002	-0,003
		0,038	0,160	0,099	-0,042
Microt.		2815	-16642	17281	10849
		9628	-43651	96944	-50762
Tam. crist.		0,067	-0,103	0,292	0,191
		0,189	-	1,801	-0,424
Ord. orig.		-2,114	-74,840	-61,545	495,94
		488,14	-1484,47	113,63	-125,78
C. corr. mul.		0,6389	0,8100	0,5857	0,6875
		0,5304	0,7670	0,6418	0,6563

TABLA XLIV

Análisis de regresión lineal múltiple. Coeficientes de regresión correspondientes a muestras con un 75% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 25% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Var.ind.		1 día	3 días	7 días	28 días
SO <sub>2</sub>	F	-	-10,111	-	-
	C	-	-	-	-
C <sub>3</sub> S		-	1,148	-	-
		-	14,380	-	-
C <sub>2</sub> S		0,779	-	-	-
		-	-	-	-13,018
C <sub>3</sub> A		6,197	-	-	-24,649
		178,63	-	-	1170,24
C <sub>4</sub> AF		2,145	-	-0,106	-
		-	-	13,960	-
C <sub>2</sub> F		-	1,834	-	-1,153
		-	-	-	-
Cal libre		-8,035	-	5,675	-
		-	-	-	-
MS		-	-51,49	-12,20	-
		-	-	-	-
MF		-	-202,39	-	-590,64
		-	-	-	-
SC		-	-	0,773	0,956
		-	-21,13	-	8,097
FC		-	-	-0,710	-
		-	-	7,665	-
S.Blaine		0,152	0,039	0,0588	-0,031
		0,060	0,411	0,410	-1,438
Microt.		-	47571	-	18711
		-861390	-	-	487010
Tamaño crist.		0,351	-	-0,348	-
		-8,534	-	4,978	-
Ord.orig.		-590,37	-217,46	-59,95	19,514
		2760,41	194,72	-2956,67	4572,32
C.corr.mult.		0,9991	1,000	1,000	0,9983
		0,9600	1,000	1,000	0,9860

TABLA XLV

Análisis de regresión lineal múltiple. Coeficientes de regresión correspondientes a muestras con un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 33% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Var.ind.		1 día	3 días	7 días	28 días
SO <sub>3</sub>	F	-1,170	-12,963	-10,617	-6,385
	C	-10,978	-12,965	-9,361	21,311
C <sub>3</sub> S		0,897	-	-	-1,266
		4,812	-0,417	-9,935	-7,419
C <sub>2</sub> S		-1,680	-0,585	1,073	1,432
		-5,962	-6,430	4,262	3,881
C <sub>3</sub> A		-8,010	-11,418	6,590	-4,053
		-21,16	16,326	-	-26,56
C <sub>4</sub> AF		-1,244	-14,343	15,250	-0,707
		13,036	-	21,677	-6,624
C <sub>2</sub> F		3,771	-12,693	23,516	2,880
		61,379	30,881	59,170	16,902
Cal libre		8,188	-	-1,386	-10,609
		36,932	-	-84,38	-62,302
MS		-	-20,010	33,568	-
		-	35,267	-	-55,803
MF		101,21	-	-	-12,513
		523,90	-	-94,198	-
SC		-2,490	2,049	-	3,778
		-13,311	5,182	27,850	21,034
FC		-1,583	-3,571	3,323	0,797
		-2,775	-5,567	6,976	-
S.Blaine		-0,002	-0,002	0,010	0,022
		-0,043	0,030	0,061	0,066
Microt.		-31413	9104	-14715	16061
		-42635	-217200	178690	179200
Tamaño crist.		-0,216	-	-0,190	0,072
		-0,542	-1,951	0,4442	0,957
Ord.orig.		462,95	584,24	-614,91	-368,32
		1284,87	1117,44	-3101,41	-1302,04
C.corr.mult.		0,8872	0,9689	0,8524	0,7409
		0,9054	0,9717	0,8979	0,6896

TABLA XLVI

Análisis de regresión lineal múltiple. Coeficientes de regresión correspondientes a muestras con un 50% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 50% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Var.ind.		1 día	3 días	7 días	28 días
SO <sub>3</sub>	F	7,762	-26,803	-	-
	C	37,51	-214,10	-78,11	-81,00
C <sub>3</sub> S		-0,076	-3,197	-	-
		-	-43,02	-22,01	-23,46
C <sub>2</sub> S		-	0,805	-	0,788
		-	-	-	-
C <sub>3</sub> A		-	0,613	-	-3,316
		-	-	-	-
C <sub>4</sub> AF		-1,471	10,813	-	2,216
		-10,099	83,186	-5,813	38,83
C <sub>2</sub> F		-	13,849	-	9,089
		-1,863	110,27	-19,35	25,06
Cal libre		0,331	-	2,631	-
		7,253	-69,12	-49,16	-63,79
MS		-	35,190	-45,880	-
		-	484,50	-	-278,99
MF		4,644	-	-	65,503
		-	-	-250,09	90,882
SC		-	11,479	-3,829	-
		2,987	111,25	35,910	-
FC		-	-	4,704	0,908
		-	-	11,28	51,11
S.Blaine		0,016	-0,019	-	0,013
		0,156	-0,190	0,025	0,079
Microt.		-86686	-	-	102612
		-811570	20845	816640	-
Tamaño crist.		-0,906	-0,093	-	1,008
		-6,915	-	9,480	1,051
Or.orig.		284,988	-966,076	3,519	-478,750
		1868,41	-8965,56	-5439,63	-4112,52
C.corr.mult.		0,6963	0,9986	0,5751	0,8004
		0,8359	0,9424	0,8913	0,8843

TABLA XLVII

Análisis de regresión lineal múltiple. Coeficientes de regresión correspondientes a muestras con marga de Lloseta.

Var.ind.		1 día	3 días	7 días	28 días
K <sub>2</sub> O	F	-1,047	8,748	16,319	-9,382
	C	-60,85	-20,75	31,842	-13,02
SO <sub>3</sub>		21,284	9,785	-8,709	-2,947
		80,704	123,31	127,11	-12,724
C <sub>3</sub> S		-	-1,179	-2,079	-2,399
		-	-	-	-17,956
C <sub>2</sub> S		-	-	-	-
		-7,84	-9,764	-4,109	-21,810
C <sub>3</sub> A		3,449	-	-12,326	-17,910
		1,497	15,998	-	-
C <sub>4</sub> AF		-6,796	-6,621	-25,364	-32,018
		-33,71	-26,89	-17,868	-24,246
Cal libre		-8,012	-13,459	-18,165	-22,187
		-	-15,834	-50,017	-36,335
MS		-	-	-120,463	-183,133
		-105,84	-	-222,246	-
MF		-2,411	-3,172	-11,753	-10,057
		-18,81	-32,35	-62,885	-36,313
SC		2,131	2,625	-	-
		-	-	-	-
FC		-1,179	0,317	1,565	0,761
		-4,447	-3,107	-0,829	-0,459
S.Blaine		0,006	0,003	0,007	0,003
		0,041	0,040	0,0341	0,039
Microt.		-	-	-	-25002
		-163976	-	-	-
Tamaño crist.		0,174	0,224	0,357	-
		-	1,000	0,401	0,8959
Or.orig.		-81,83	-155,77	608,32	1136,70
		1449,95	554,35	1131,03	2081,43
C.corr.mult.		0,7695	0,7810	0,8524	0,8580
		0,8575	0,8640	0,9115	0,8473

A fin de obtener resultados lo más generales posibles se ha aplicado el análisis de correlación lineal múltiple a los conjuntos de hiperpuntos que resultan cuando se considera sólo el tiempo transcurrido antes de medir las resistencias a la flexotracción y compresión, con independencia del tipo de marga empleada. Se tienen, por tanto, cuatro conjuntos de hiperpuntos correspondientes a las mediciones a uno, 3, 7 y 28 días. Los resultados se muestran en la tabla XLVIII.

TABLA XLVIII

Coeficientes de regresión correspondientes al análisis de regresión lineal múltiple llevado a cabo sobre la totalidad de las muestras con independencia del tipo de marga empleada.

Var.ind.		1 día	3 días	7 días	28 días
K <sub>2</sub> O	F	6,813	7,601	14,205	-8,581
	C	50,933	21,653	63,542	18,276
SO <sub>3</sub>		3,012	-2,183	-5,152	-2,563
		8,270	-	-25,94	-16,389
C <sub>3</sub> S		-0,527	-	-0,191	-0,361
		-2,952	-2,460	-	-1,056
C <sub>2</sub> S		-0,860	-	-0,380	-0,470
		-	-4,741	1,083	-2,681
C <sub>3</sub> A		0,280	-1,108	-0,108	-
		-	-	-	2,892
C <sub>4</sub> AF		-	-0,323	-	-
		-	-	2,020	2,601
C <sub>2</sub> F		-2,303	-3,532	-1,795	-1,679
		-14,303	-17,65	-5,000	-
Cal libre		-	-2,225	-	-1,158
		-15,830	-12,09	-10,49	-
MS		-7,616	-	-17,14	-2,854
		-48,954	-59,41	-68,42	-10,285
MF		0,588	1,307	-1,887	-
		-19,961	-	-26,53	-22,498
SC		-0,871	1,006	-1,227	-0,490
		5,481	-0,460	3,989	0,063
FC		1,014	-	1,678	0,365
		7,020	8,502	6,639	2,282
S.Blaine		0,006	0,005	0,005	0,001
		0,048	0,052	0,049	0,038
Microt.		-1991	-3847	2117	5469
		-2235	-87439	35380	19596
Tamaño crist.		0,006	0,022	0,065	0,097
		0,223	-0,494	0,502	0,404
Ord.orig.		38,70	-42,75	26,04	112,96
		-1073	-190,8	-844,9	198,93
C.corr.mult.		0,8745	0,8030	0,7313	0,5205
		0,9019	0,8551	0,7208	0,5928

Si todas las variables independientes guardasen el mismo grado de correlación con las dependientes, o sea, con las resistencias, los coeficientes de regresión obtenidos serían en sí una información valiosísima ya que, como es sabido, los mismos indican la variación o el cambio que se produce en las variables dependientes por cambio unitario de las variables independientes. De hecho, a partir de los hiperplanos de regresión resultantes se pueden, dentro de ciertos márgenes y para materiales de composición no muy diferente, predecir las propiedades mecánicas. Es más, los coeficientes de correlación múltiples son bastante buenos en todos los casos examinados en esta tesis, mejores de lo que cabe esperar en este tipo de tratamientos matemáticos (110). Sin embargo, un examen detenido de los coeficientes de regresión obtenidos, abre dudas razonables acerca de la aparente bondad del ajuste. Podría tratarse de un ajuste parcialmente "compensado" o "forzado" (las matemáticas no respetan demasiado la lógica química en este caso). Considérense, por ejemplo, los datos de la tabla XLIII, correspondientes a muestras con un 100% de marga de Alcalá de Guadaíra. No se explica fácilmente que un aumento del contenido de microtensiones haga aumentar la resistencia a un día, la haga disminuir a los tres días para volver a aumentarla a los 7 días y disminuirla de nuevo a los 28 días. Además, un aumento del contenido de  $C_3S$  parece en algunos casos, tabla XLIII, favorecer un aumento de la resistencia y en otros, tabla XLV, parece ir en contra de la misma. Hay, por tanto, que considerar con cierta cautela el significado de los coeficientes de regresión obtenidos mediante algoritmos de regresión lineal múltiple. Sin embargo, como se ha indicado anteriormente, considerados en conjunto, los coeficientes de regresión definen hiperplanos capaces dentro de ciertos

márgenes de predecir los valores de las resistencias mecánicas.

Los coeficientes de correlación múltiple correspondientes a la totalidad de las muestras con independencia de la marga empleada , tabla XLVIII, disminuyen sensiblemente a medida que aumenta el envejecimiento del mortero. Este hecho no se observa cuando se tratan separadamente los datos correspondientes a clinker de distintas margas. No obstante, en lo que respecta a la correlación de las resistencias mecánicas a uno y a tres días con el resto de las variables consideradas, ésta parece ser bastante independiente del tipo de marga empleado en la mezcla primaria para la obtención del clinker, cemento y posterior mortero del que se han medido dichas resistencias a la flexotracción y a la compresión.



## 6.2 ANALISIS FACTORIAL

De acuerdo con el apartado anterior, el análisis de regresión lineal múltiple permite obtener los correspondientes hiperplanos de regresión para cada uno de los conjuntos de datos considerados, y, los coeficientes de regresión, que relacionan linealmente cada variable independiente con las resistencias, indican el cambio que cabe esperar que se produzca en el valor de dichas resistencias por cambio unitario de las variables independientes. El valor numérico de los coeficientes de regresión depende, por tanto de las unidades en que se midan dichas variables independientes. El análisis de regresión lineal múltiple no da, al menos de una forma directa, el 'peso real' de cada variable independiente sobre las variables dependientes o resistencias a la flexotracción y compresión. De ello se encarga el denominado análisis factorial.

El análisis factorial (111) considera conjuntamente a todas las variables, que ya no son dependientes ni independientes sino 'observables', agrupándolas en una serie de variables hipotéticas, denominadas 'factores', no directamente observables, que obedecen a conceptos de naturaleza más abstracta que las variables originales. Este procedimiento estadístico permite establecer el peso real de cada 'observable' dentro de cada 'factor'. En realidad da el grado de independencia de cada observable.

El modelo factorial lineal supone que el número de factores es más reducido que el de variables observables y que la totalidad de los factores son variables incorrelacionadas; se pretende que la parte de una variable explicada por un factor no tenga relación (en sentido lineal) con los demás factores. Los factores "rotados" son a menudo de una mejor

interpretabilidad que los "no rotados" o normales. No obstante, las diferencias entre los coeficientes correspondientes a factores no rotados y rotados son en el caso que nos ocupa, como se verá a continuación, poco significativas, lo que, por otra parte confirma que los resultados obtenidos son correctos.

El análisis factorial se ha llevado a cabo empleando el programa BMDP4M, del VAX de la Universidad de Sevilla. De entre las diversas opciones posibles (factor principal, análisis factorial canónico etc...) se ha elegido el análisis factorial canónico, por ser, al contrario que el del factor principal, invariante por cambio de escala, y en nuestro caso ello es muy importante ya que, como se ha dicho anteriormente, los valores absolutos de los datos experimentales (superficie específica, tamaño cristalino, contenido de microtensiones etc, ) son magnitudes difíciles de determinar, cosa que ocurre en mucha menor extensión en lo que se refiere a sus valores relativos que, a menudo, son casi independientes de los procedimientos experimentales empleados en su obtención. Los datos de entrada necesarios para que se ejecute correctamente dicho programa de cálculo son los mismos que los correspondientes al análisis de regresión múltiple. En lo que se refiere a los resultados el programa genera un fichero de salida que incluye, además de los propios datos de entrada, una información estadística extensa y detallada de la que se ha extraído sólo aquella parte que nos ha parecido de interés directo desde el punto de vista químico.

En las tablas IL a la LXXXIV se recogen los resultados de las correlaciones parciales entre cada par de variables (manteniendo fijas el resto) y de los coeficientes correspondientes a los factores no-rotados y rotados para cada observable. Se incluyen además los valores propios, varianzas

explicadas por cada factor, el porcentaje de varianza acumulada por los sucesivos factores y el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado de cada observable con el resto.

En el apéndice se muestra la salida completa correspondiente a clinker que han empleado marga de LLoseta.

TABLA IL

Análisis factorial. Correlaciones parciales correspondientes a muestras con un 100% de marga de Alcalá de Guadaíra del total de marga.

Variables	Rf(1d)	Rc(1d)	Rf(3d)	Rc(3d)	Rf(7d)	Rc(7d)	Rf(28d)	Rc(28d)
Res.flex.	1,000		1,000		1,000		1,000	
R.compr.	0,831	1,000	0,658	1,000	0,754	1,000	0,488	1,000
SO <sub>3</sub>	0,210	-0,328	0,203	0,123	0,033	-0,052	0,419	-0,457
C <sub>3</sub> S	0,086	-0,202	0,009	0,182	0,080	0,091	0,454	-0,317
C <sub>2</sub> S	0,095	-0,235	0,037	0,080	0,258	-0,041	0,363	-0,240
C <sub>4</sub> AF	0,470	-0,546	0,738	-0,414	0,355	-0,336	0,418	-0,307
C <sub>2</sub> F	0,041	-0,224	0,705	-0,371	0,360	-0,338	0,431	-0,329
C.libre	0,031	-0,065	-0,077	0,274	-0,169	0,215	0,423	-0,308
MS	0,340	-0,377	0,551	-0,432	0,430	-0,397	0,605	-0,405
MF	-0,519	0,373	0,239	-0,084	0,105	-0,019	-0,018	-0,004
SC	0,045	-0,094	0,061	-0,232	0,384	-0,296	0,175	-0,038
FC	0,025	-0,052	0,281	-0,069	-0,263	0,154	-0,619	0,389
S.Blaine	0,225	-0,074	-0,224	0,500	-0,174	0,357	0,103	-0,156
Micr.	0,160	-0,093	-0,555	0,239	0,146	0,070	0,245	-0,188
T.crist.	0,194	-0,112	-0,340	0,235	0,122	0,125	0,249	-0,143

TABLA L

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 100% de marga de Alcalá de Guadaíra del total de marga (1 día). Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5	FAC 6
Val. propio			4,843	2,679	2,628	1,317	1,274	1,078
Var. expl.			4,475	2,575	2,370	1,276	1,052	0,454
% Var. acum.			29,83	47,00	62,81	71,32	78,33	81,37
R. flex.	0,842	0,264	-0,313	0,214	0,316	0,099	-0,037	0,096
R. compr.	0,816	0,218	-0,287	0,031	0,255	-0,099	-0,106	0,243
SO <sub>3</sub>	0,923	0,695	0,535	-0,132	-0,019	-0,002	0,176	0,600
C <sub>3</sub> S	0,999	0,993	-0,451	-0,021	-0,805	-0,359	-0,098	-0,054
C <sub>2</sub> S	0,998	0,995	0,506	0,195	0,739	0,393	-0,040	0,004
C <sub>4</sub> AF	0,996	0,999	0,972	-0,214	0,014	-0,090	0,017	-0,019
C <sub>2</sub> F	0,996	0,997	-0,914	-0,313	0,215	-0,107	-0,078	-0,033
C. libre	0,995	0,988	-0,145	-0,226	0,676	0,309	0,603	-0,003
MS	0,992	0,994	0,073	0,899	-0,253	0,341	-0,061	-0,042
MF	0,995	0,994	0,961	0,172	-0,192	0,030	0,062	0,017
SC	0,995	0,992	-0,678	-0,392	-0,246	-0,167	0,540	0,011
FC	0,984	0,983	-0,589	0,447	-0,408	0,248	0,452	-0,067
S. Blaine	0,567	0,178	-0,032	-0,197	-0,061	0,072	0,349	0,092
Microt.	0,949	0,912	-0,110	-0,714	-0,270	0,557	-0,024	-0,088
T. crist.	0,948	0,995	0,044	0,734	0,320	-0,590	0,071	-0,004

TABLA LI

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 100% de marga de Alcalá de Guadaíra del total de marga (1 día).

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5	FAC 6
Var.expl.	2,745	2,008	1,800	1,667	1,565	1,250
R.flex.	0,187	0,074	-0,418	0,129	-0,019	-0,060
R.compr.	0,021	0,027	-0,500	-0,042	-0,048	0,113
SO <sub>2</sub>	-0,011	-0,005	-0,050	-0,045	0,129	0,856
C <sub>3</sub> S	-0,960	-0,003	0,022	0,082	0,019	-0,079
C <sub>2</sub> S	0,937	0,008	0,011	0,049	-0,209	0,048
C <sub>4</sub> AF	0,239	0,063	0,674	-0,317	-0,111	0,304
C <sub>2</sub> F	-0,172	-0,109	-0,635	-0,282	0,151	-0,399
C. libre	0,769	-0,011	-0,119	-0,089	0,659	-0,134
MS	0,060	0,099	0,062	0,919	-0,227	0,042
MF	0,156	0,110	0,683	0,117	-0,143	0,388
SC	-0,390	-0,021	-0,131	-0,116	0,769	-0,146
FC	-0,220	-0,011	-0,094	0,760	0,462	-0,158
S.Blaine	0,017	-0,082	0,052	0,011	0,391	0,125
Microt.	0,051	-0,954	0,024	-0,004	0,001	-0,061
T.crist.	-0,011	1,023	0,011	-0,018	0,061	-0,071

TABLA LII

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 100% de marga de Alcalá de Guadaíra del total de marga (3 días). Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Val. propio			4,911	2,694	2,029	1,777	1,394
Var. expl.			4,150	2,297	1,300	2,107	1,805
% Var. acumu.			27,66	42,98	51,65	65,70	77,74
R. flex.	0,892	0,564	0,142	-0,307	0,288	-0,403	0,453
R. compr.	0,801	0,329	0,243	-0,406	0,050	-0,305	0,103
SO <sub>3</sub>	0,937	0,603	-0,256	0,270	0,597	0,138	-0,300
C <sub>3</sub> S	0,999	0,999	0,674	-0,738	-0,016	0,002	0,003
C <sub>2</sub> S	0,999	0,998	-0,782	0,613	-0,015	-0,005	0,101
C <sub>4</sub> AF	0,999	0,987	-0,795	-0,092	0,406	-0,052	-0,423
C <sub>2</sub> F	0,998	0,998	0,756	0,158	-0,633	0,006	0,046
C. libre	0,995	0,983	0,162	0,971	0,014	0,002	0,121
MS	0,995	0,972	0,004	-0,121	0,318	0,103	0,920
MF	0,632	0,084	0,079	0,222	0,171	-0,005	0,006
SC	0,998	1,000	1,000	0,024	0,003	0,000	-0,001
FC	0,997	0,995	0,750	-0,033	0,167	0,135	0,622
S. Blaine	0,793	0,291	0,355	-0,039	0,366	0,042	-0,167
Microt.	0,957	0,995	0,085	0,048	-0,006	0,989	-0,088
T. crist.	0,951	0,855	-0,086	-0,016	0,005	-0,907	0,162

TABLA LIII

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 100% de marga de Alcalá de Guadaíra del total de marga (3 días).

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Var. expl.	3,345	2,214	2,133	1,898	1,623
R. flex.	-0,080	-0,423	-0,135	0,496	0,126
R. compr.	0,073	-0,302	-0,329	0,111	0,193
SO <sub>3</sub>	-0,619	0,120	0,302	-0,070	0,348
C <sub>3</sub> S	0,312	0,028	-0,691	0,097	0,483
C <sub>2</sub> S	-0,367	-0,029	0,569	0,006	-0,607
C <sub>4</sub> AF	-0,933	-0,055	-0,120	-0,245	-0,017
C <sub>2</sub> F	1,018	0,022	0,096	-0,213	0,007
C. libre	0,325	-0,033	0,992	-0,013	-0,042
MS	-0,087	0,077	0,051	1,023	-0,195
MF	-0,025	-0,018	0,257	0,038	0,140
SC	0,675	0,001	0,088	-0,004	0,625
FC	0,487	0,120	0,114	0,679	0,295
S. Blaine	-0,073	0,038	0,023	-0,008	0,548
Microt.	0,015	1,015	-0,074	0,103	0,041
T. crist.	0,002	-0,933	0,106	-0,022	-0,083

TABLA LIV

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 100% de marga de Alcalá de Guadaíra del total de marga (7 días). Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Val. propio			4,377	2,911	1,907	1,789	1,158
Var. expl.			3,227	2,582	2,276	1,377	1,593
%Var. acumu.			21,51	38,73	53,90	63,09	73,71
R. flex.	0,757	0,269	0,130	0,146	0,081	-0,097	-0,464
R. compr.	0,768	0,356	0,206	-0,325	0,212	-0,036	-0,402
SO <sub>3</sub>	0,881	0,978	-0,195	0,118	0,005	0,379	0,886
C <sub>3</sub> S	0,998	1,000	1,000	-0,007	-0,006	0,000	0,000
C <sub>2</sub> S	0,998	0,996	-0,967	0,178	-0,156	-0,038	-0,064
C <sub>4</sub> AF	0,994	0,563	-0,443	-0,094	-0,545	0,000	0,248
C <sub>2</sub> F	0,995	0,596	0,287	-0,544	0,368	-0,030	-0,285
C. libre	0,994	0,992	-0,587	-0,178	0,780	-0,030	-0,080
MS	0,995	1,000	0,091	0,995	0,034	-0,001	0,000
MF	0,292	0,181	-0,061	0,217	0,128	0,060	0,332
SC	0,996	0,999	0,543	-0,335	0,770	0,004	0,002
FC	0,990	0,983	0,491	0,558	0,652	-0,064	-0,040
S. Blaine	0,559	0,215	0,118	-0,235	0,316	-0,118	0,179
Microt.	0,959	0,938	0,074	-0,540	0,112	-0,760	0,224
T. crist.	0,957	0,985	-0,075	0,514	-0,105	0,788	-0,290



TABLA LV

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 100% de marga de Alcalà de Guadaira del total de marga (7 dias).

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Var.expl.	2,615	2,380	2,145	1,822	1,639
R.flex.	0,009	0,017	0,058	0,191	-0,484
R.compr.	0,370	-0,032	0,003	-0,162	-0,372
SO <sub>2</sub>	0,050	-0,020	0,164	-0,048	1,001
C <sub>3</sub> S	0,196	-0,914	-0,032	0,143	-0,041
C <sub>2</sub> S	-0,418	0,837	0,049	-0,049	-0,058
C <sub>4</sub> AF	-0,524	0,125	-0,062	-0,360	0,212
C <sub>2</sub> F	0,610	-0,071	-0,077	-0,262	-0,240
C. libre	0,615	0,875	-0,049	0,102	0,007
MS	-0,391	-0,032	0,195	0,863	-0,045
MF	0,012	0,050	0,006	0,221	0,342
SC	0,911	-0,184	-0,104	0,126	0,059
FC	0,376	-0,138	0,021	0,846	-0,056
S.Blaine	0,325	-0,003	-0,237	0,023	0,150
Microt.	-0,046	0,002	-0,977	-0,019	-0,086
T.crist.	0,081	0,010	1,020	-0,017	0,037

TABLA LVI

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 100% de marga de Alcalá de Guadaíra del total de marga (28 días). Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Val.propio			4,538	2,809	1,850	1,652	1,042
Var.expl.			3,381	2,521	2,465	1,249	1,215
%Var.acumu.			22,54	39,35	55,78	64,12	72,22
R.flex.	0,648	0,144	0,096	0,239	0,253	0,106	-0,058
R.compr.	0,582	0,318	0,350	-0,041	0,352	-0,025	-0,264
SO <sub>3</sub>	0,913	0,577	-0,215	0,042	-0,083	-0,086	0,718
C <sub>3</sub> S	0,999	0,999	1,000	0,020	-0,011	0,004	-0,003
C <sub>2</sub> S	0,998	0,995	-0,972	0,093	-0,162	0,116	-0,044
C <sub>4</sub> AF	0,997	0,807	-0,433	-0,021	-0,600	-0,303	0,409
C <sub>2</sub> F	0,997	0,798	0,290	-0,206	0,593	-0,191	-0,533
C.libre	0,996	0,991	-0,568	-0,328	0,749	-0,021	-0,018
MS	0,996	0,942	0,129	0,454	-0,125	0,832	0,106
MF	0,363	0,112	-0,042	0,009	0,039	0,124	0,306
SC	0,996	0,991	0,555	-0,349	0,739	-0,121	0,030
FC	0,993	0,976	0,556	0,025	0,546	0,604	0,055
S.Blaine	0,536	0,256	0,122	-0,289	0,307	0,006	0,254
Microt.	0,955	0,924	0,082	-0,955	-0,056	0,017	-0,043
T.crist.	0,952	0,997	-0,087	0,989	0,110	-0,017	0,000

TABLA LVII

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 100% de marga de Alcalá de Guadaíra del total de marga (28 días).

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Var.expl.	2,790	2,396	2,080	1,636	1,369
R.flex.	-0,032	0,175	0,263	0,143	-0,053
R.compr.	-0,241	0,289	0,043	0,047	-0,288
SO <sub>3</sub>	-0,014	0,050	0,102	-0,159	0,760
C <sub>3</sub> S	-0,979	-0,135	-0,013	0,100	-0,051
C <sub>2</sub> S	0,977	-0,093	0,027	0,020	0,000
C <sub>4</sub> AF	0,149	-0,424	-0,052	-0,436	0,450
C <sub>2</sub> F	-0,130	0,567	-0,008	-0,104	-0,564
C. libre	0,664	0,871	-0,081	-0,017	-0,001
MS	0,082	-0,390	0,127	0,894	0,092
MF	0,010	0,054	0,000	0,117	0,314
SC	-0,480	0,761	-0,098	-0,018	-0,004
FC	-0,291	0,344	-0,034	0,748	0,010
S.Blaine	-0,124	0,369	-0,180	0,032	0,242
Microt.	0,002	0,065	-0,959	0,041	-0,109
T.crist.	0,017	-0,021	1,005	-0,035	0,067

TABLA LVIII

Análisis factorial. Correlaciones parciales correspondientes a las muestras con un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 33% de marga de Morón de la Frontera del total de marga.

Variables	Rf(1d)	Rc(1d)	Rf(3d)	Rc(3d)	Rf(7d)	Rc(7d)	Rf(28d)	Rc(28d)
R.flex.	1,000		1,000		1,000		1,000	
R.compr.	0,901	1,000	0,101	1,000	0,337	1,000	0,828	1,000
SO <sub>3</sub>	0,257	-0,377	-0,903	0,019	-0,601	0,075	-0,407	-0,011
C <sub>3</sub> S	0,202	-0,191	-0,747	0,348	0,065	-0,375	0,483	-0,388
C <sub>2</sub> S	-0,250	0,000	-0,774	0,043	0,022	-0,003	0,206	-0,307
C <sub>3</sub> A	0,062	-0,228	-0,734	0,164	-0,563	0,027	0,207	-0,282
C <sub>4</sub> AF	0,002	-0,115	-0,846	0,371	0,391	-0,211	0,128	-0,102
C <sub>2</sub> F	-0,550	0,640	-0,606	0,472	0,781	-0,149	-0,138	-0,079
C.libre	0,311	-0,173	-0,664	0,327	0,202	-0,541	0,259	-0,335
MS	0,246	-0,366	-0,769	0,445	0,207	-0,237	-0,288	0,347
MF	-0,158	0,376	0,066	0,221	0,678	-0,112	0,203	0,005
SC	-0,067	-0,109	0,818	-0,087	-0,310	0,506	0,364	-0,362
FC	-0,445	0,293	-0,916	0,063	0,551	-0,080	0,561	-0,409
S.Blaine	0,441	-0,566	-0,696	0,406	0,029	0,131	-0,068	0,209
Micrt.	-0,733	0,602	0,142	-0,310	-0,469	0,441	-0,068	0,209
T.crist.	-0,625	0,437	-0,095	-0,404	-0,619	0,282	-0,097	0,205

TABLA LIX

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 33% de marga de Morón de la Frontera del total de marga (1 día). Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Val. propio			5,431	3,669	2,803	1,176	1,029
Var. expl.			3,621	2,971	3,698	1,437	0,802
%Var. acumu.			22,63	41,20	64,32	73,30	78,32
R. flex.	0,961	0,468	-0,518	-0,075	0,278	0,275	0,205
R. compr.	0,970	0,513	-0,409	-0,111	0,531	0,214	0,071
SO <sub>3</sub>	0,906	0,712	-0,472	0,026	-0,561	0,416	0,030
C <sub>3</sub> S	0,993	0,995	-0,088	0,237	0,964	0,033	0,023
C <sub>2</sub> S	0,987	0,937	0,402	-0,151	-0,863	-0,094	0,013
C <sub>3</sub> A	0,997	1,000	0,934	-0,357	0,000	0,000	0,000
C <sub>4</sub> AF	0,996	1,000	-0,699	-0,715	0,000	0,000	0,000
C <sub>2</sub> F	0,972	0,899	-0,214	0,783	0,172	0,062	-0,455
C. libre	0,987	0,995	-0,592	-0,227	-0,305	0,707	0,005
MS	0,994	0,982	0,521	0,664	-0,269	-0,222	0,387
MF	0,996	0,989	0,744	-0,571	-0,038	0,082	0,320
SC	0,991	0,985	-0,414	-0,096	0,705	0,554	-0,012
FC	0,975	0,940	-0,191	0,356	0,692	0,454	0,304
S. Blaine	0,862	0,410	0,017	-0,477	-0,417	-0,094	-0,016
Microt.	0,975	0,372	-0,045	-0,475	0,059	-0,205	0,317
T. crist.	0,966	0,328	0,000	0,466	-0,031	0,092	-0,319

TABLA LX

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 33% de marga de Morón de la Frontera del total de marga (1 día).

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Var. expl.	3,798	1,986	1,970	1,832	1,751
R. flex.	0,479	-0,232	0,246	-0,223	-0,058
R. compr.	0,557	-0,119	-0,003	-0,127	-0,242
SO <sub>3</sub>	-0,135	-0,204	0,775	0,077	0,052
C <sub>3</sub> S	0,804	-0,035	-0,481	0,065	-0,092
C <sub>2</sub> S	-0,742	0,238	0,314	-0,021	0,222
C <sub>3</sub> A	-0,103	0,922	-0,197	0,017	-0,049
C <sub>4</sub> AF	-0,106	-0,337	0,155	-0,488	-0,592
C <sub>2</sub> F	0,099	-0,340	-0,117	0,777	-0,012
C. libre	0,177	0,008	0,905	0,068	-0,252
MS	-0,043	-0,025	-0,061	-0,015	0,975
MF	0,041	0,842	0,017	-0,385	0,074
SC	0,854	0,125	0,173	0,094	-0,390
FC	1,014	0,041	0,122	0,025	0,248
S. Blaine	-0,467	0,081	0,146	-0,241	-0,201
Microt.	-0,011	-0,039	-0,115	-0,618	-0,013
T. crist.	-0,036	-0,066	0,012	0,559	0,001

TABLA LXI

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 33% de marga de Morón de la Frontera del total de marga (3 días). Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4
Val. propio			5,452	3,546	3,252	1,323
Var. expl.			4,198	2,973	4,130	1,100
%Var. acumu.			26,23	44,82	70,63	77,51
R. flex.	0,981	0,634	-0,224	0,003	-0,720	-0,257
R. compr.	0,961	0,721	-0,393	0,582	-0,412	-0,243
SO <sub>3</sub>	0,980	0,766	-0,177	-0,264	0,668	0,469
C <sub>3</sub> S	0,998	0,958	-0,546	0,504	-0,613	-0,176
C <sub>2</sub> S	0,993	0,947	0,729	-0,466	0,394	0,209
C <sub>3</sub> A	0,998	0,924	0,794	0,458	-0,289	0,023
C <sub>4</sub> AF	0,999	0,978	-0,232	0,386	0,853	-0,218
C <sub>2</sub> F	0,998	0,790	-0,583	-0,492	-0,448	0,087
C. libre	0,995	0,911	-0,172	0,026	0,756	0,557
MS	0,998	0,836	0,395	-0,592	-0,573	0,052
MF	0,998	0,989	0,847	0,519	-0,049	0,018
SC	0,996	0,983	-0,641	0,729	-0,059	0,192
FC	0,993	0,748	-0,498	0,374	-0,549	0,241
S. Blaine	0,886	0,504	0,595	-0,153	0,355	-0,028
Microt.	0,991	0,340	0,306	0,269	0,215	-0,358
T. crist.	0,992	0,365	-0,313	-0,323	-0,272	0,297

TABLA LXII

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 33% de marga de Morón de la Frontera del total de marga (3 días).

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4
Var. expl.	4,309	2,781	2,592	2,042
R. flex.	0,272	-0,627	-0,120	-0,187
R. compr.	0,742	-0,310	0,048	0,180
SO <sub>3</sub>	-0,200	0,774	-0,224	-0,083
C <sub>3</sub> S	0,840	-0,367	-0,032	-0,011
C <sub>2</sub> S	-0,827	0,261	0,262	-0,147
C <sub>3</sub> A	0,056	-0,129	0,960	-0,098
C <sub>4</sub> AF	0,109	0,391	-0,247	0,832
C <sub>2</sub> F	0,067	-0,223	-0,591	-0,458
C. libre	0,033	0,960	-0,016	-0,013
MS	-0,497	-0,433	0,089	-0,600
MF	0,003	0,012	0,977	0,064
SC	1,006	0,337	0,088	0,077
FC	0,807	0,017	0,116	-0,379
S. Blaine	-0,555	0,098	0,248	0,144
Microt.	-0,109	-0,175	0,165	0,501
T. crist.	0,069	0,077	-0,221	-0,500



TABLA LXIII

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 33% de marga de Morón de la Frontera del total de marga (7 días). Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Val. propio			4,982	3,698	2,648	1,707	1,241
Var. expl.			2,384	1,662	3,227	3,888	1,471
%Var. acumu.			14,90	25,29	45,46	69,77	78,96
R. flex.	0,879	0,270	-0,271	0,066	0,196	0,330	-0,213
R. compr.	0,836	0,696	-0,344	0,328	0,145	0,554	-0,378
SO <sub>3</sub>	0,923	0,583	-0,283	-0,319	-0,213	-0,307	0,512
C <sub>3</sub> S	0,993	0,991	-0,048	0,085	0,319	0,901	-0,262
C <sub>2</sub> S	0,985	0,951	0,386	-0,028	-0,253	-0,834	0,208
C <sub>3</sub> A	0,997	0,992	0,605	0,764	-0,207	0,003	-0,017
C <sub>4</sub> AF	0,995	1,000	-0,587	0,233	-0,775	0,000	0,000
C <sub>2</sub> F	0,997	1,000	-0,340	-0,133	0,931	0,000	0,000
C. libre	0,985	0,979	-0,414	-0,104	-0,315	-0,188	0,814
MS	0,991	0,969	0,676	-0,533	0,371	-0,255	-0,160
MF	0,999	1,000	0,574	0,562	-0,595	0,000	0,000
SC	0,990	0,992	-0,340	0,215	0,023	0,848	0,332
FC	0,970	0,933	0,118	-0,296	0,259	0,854	0,186
S. Blaine	0,746	0,518	-0,206	0,202	-0,351	-0,555	-0,063
Microt.	0,961	0,392	-0,072	0,018	-0,570	0,063	-0,242
T. crist.	0,960	0,363	0,000	0,000	0,584	-0,099	0,114

TABLA LXIV

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 33% de marga de Morón de la Frontera del total de marga (7 días).

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Var. expl.	2,851	2,498	2,272	2,096	1,937
R. flex.	0,104	-0,290	-0,273	-0,184	0,048
R. compr.	0,128	-0,562	-0,493	-0,058	-0,012
SO <sub>3</sub>	-0,062	0,031	0,692	-0,256	-0,039
C <sub>3</sub> S	0,676	-0,251	-0,445	-0,028	-0,009
C <sub>2</sub> S	-0,542	0,448	0,315	0,260	0,043
C <sub>3</sub> A	-0,069	-0,125	-0,192	0,995	0,096
C <sub>4</sub> AF	-0,273	-0,591	0,204	-0,109	-0,597
C <sub>2</sub> F	-0,076	-0,165	-0,144	-0,395	0,815
C. libre	0,045	-0,288	0,980	-0,047	0,045
MS	0,117	0,961	-0,198	-0,111	0,103
MF	-0,001	0,009	-0,044	0,853	-0,337
SC	0,716	-0,624	0,235	0,119	0,024
FC	0,999	0,109	0,076	-0,077	-0,044
S. Blaine	-0,672	-0,177	0,065	0,013	-0,109
Microt.	-0,062	-0,037	-0,114	-0,060	-0,625
T. crist.	-0,051	-0,005	-0,007	-0,016	0,608

TABLA LXV

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 33% de marga de Morón de la Frontera (28 días). Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Val. propio			4,797	3,401	2,623	1,924	1,116
Var. expl.			3,413	2,755	3,412	1,298	0,987
%Var. acumu.			21,33	38,56	59,88	68,00	74,17
R. flex.	0,858	0,189	0,275	0,124	-0,007	-0,302	0,085
R. compr.	0,842	0,307	-0,322	-0,124	0,217	-0,200	0,318
SO <sub>3</sub>	0,888	0,591	-0,487	0,012	-0,429	0,413	-0,008
C <sub>3</sub> S	0,993	0,996	-0,123	0,180	0,972	-0,060	-0,020
C <sub>2</sub> S	0,980	0,928	0,424	-0,106	-0,857	-0,021	-0,042
C <sub>3</sub> A	0,996	1,000	0,925	-0,379	0,000	0,000	0,000
C <sub>4</sub> AF	0,995	1,000	-0,715	-0,699	0,000	0,000	0,000
C <sub>2</sub> F	0,951	0,910	-0,205	0,731	0,193	0,039	0,543
C. libre	0,986	0,990	-0,581	-0,192	-0,274	0,735	-0,001
MS	0,992	0,980	0,532	0,661	-0,287	-0,153	-0,394
MF	0,993	0,984	0,737	-0,563	-0,041	0,089	-0,339
SC	0,991	0,988	-0,441	-0,128	0,745	0,471	0,021
FC	0,967	0,947	-0,173	0,375	0,710	0,390	-0,348
S. Blaine	0,828	0,404	0,055	-0,395	-0,495	-0,024	0,017
Microt.	0,948	0,335	-0,044	-0,459	-0,012	-0,195	-0,291
T. crist.	0,938	0,314	0,000	0,448	0,020	0,087	0,325

TABLA LXVI

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 33 % de marga de Morón de la Frontera (28 días).

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Var. expl.	3,438	2,151	1,801	1,779	1,748
R. flex.	-0,116	-0,393	0,073	0,029	0,026
R. compr.	0,015	-0,147	0,042	-0,495	-0,161
SO <sub>3</sub>	-0,240	0,651	0,069	0,069	-0,266
C <sub>3</sub> S	0,911	-0,297	-0,004	-0,179	-0,001
C <sub>2</sub> S	-0,812	0,090	0,025	0,299	0,172
C <sub>3</sub> A	-0,147	-0,220	0,040	-0,023	0,917
C <sub>4</sub> AF	-0,069	0,316	-0,539	-0,556	-0,272
C <sub>2</sub> F	0,102	-0,079	0,816	-0,141	-0,236
C. libre	-0,057	0,980	0,089	-0,087	-0,034
MS	-0,048	-0,314	0,063	0,901	-0,146
MF	-0,035	-0,027	-0,360	0,144	0,770
SC	0,786	0,411	0,037	-0,346	0,139
FC	0,964	0,203	0,001	0,324	-0,047
S. Blaine	-0,535	0,145	-0,173	-0,098	0,101
Microt.	-0,013	-0,093	-0,591	-0,039	-0,046
T. crist.	-0,018	0,000	0,555	-0,020	-0,032

TABLA LXVII

Análisis factorial. Correlaciones parciales correspondientes a muestras con un 50% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 50% de marga de Morón de la Frontera del total de marga .

Variables	Rf(1d)	Rc(1d)	Rf(3d)	Rc(3d)	Rf(7d)	Rc(7d)	Rf(28d)	Rc(28d)
R.flex.	1,000		1,000		1,000		1,000	
R.compr.	0,891	1,000	0,736	1,000	0,885	1,000	0,852	1,000
SO <sub>3</sub>	0,294	-0,093	-0,370	-0,167	-0,798	0,552	0,143	-0,441
C <sub>3</sub> S	0,247	-0,403	0,556	-0,725	-0,435	0,108	0,619	-0,838
C <sub>2</sub> S	0,000	0,000	0,338	-0,636	0,872	-0,755	0,686	-0,611
C <sub>3</sub> A	-0,269	0,347	0,000	0,000	0,497	-0,436	0,084	-0,066
C <sub>4</sub> AF	-0,361	0,494	0,553	-0,102	0,409	-0,312	-0,033	0,273
C <sub>2</sub> F	-0,353	0,524	0,429	-0,124	0,348	-0,249	0,371	-0,061
C.libre	0,142	-0,261	0,661	-0,150	-0,797	0,594	0,292	-0,480
MS	-0,374	0,550	-0,339	0,600	-0,758	0,761	-0,132	0,378
MF	0,202	-0,194	0,511	-0,353	-0,602	0,500	0,237	-0,063
SC	-0,417	0,579	0,000	0,000	-0,105	0,377	-0,229	0,511
FC	0,000	0,000	0,000	0,000	0,901	-0,830	0,000	0,000
S.Blaine	-0,383	0,659	0,369	-0,425	0,107	-0,049	0,561	-0,352
Micrt.	0,071	-0,211	0,000	0,000	0,647	-0,337	0,585	-0,243
T.crist.	-0,047	-0,094	-0,510	0,575	0,665	-0,354	0,500	-0,146

TABLA LXVIII

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 50% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 50% de marga de Morón de la Frontera del total de marga (1 día). Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Variab	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5	-----
Val. propio			-	-	-	-	-	
Var. expl.			4,954	3,156	2,463	1,994	1,044	
%Var. acumu.			30,96	50,69	66,09	78,55	85,08	
R. flex.	0,914	0,901	0,163	0,403	0,495	0,559	0,393	
R. compr.	0,962	0,919	0,564	0,314	0,638	0,123	0,284	
SO <sub>3</sub>	0,785	0,543	-0,241	0,346	0,538	0,241	-0,135	
C <sub>3</sub> S	0,991	0,947	0,929	-0,068	-0,277	-0,052	-0,027	
C <sub>2</sub> S	1,000	0,865	-0,890	-0,076	0,203	-0,110	0,116	
C <sub>3</sub> A	0,998	0,951	-0,445	0,791	-0,292	0,204	0,015	
C <sub>4</sub> AF	0,992	0,868	-0,245	-0,634	0,461	-0,102	-0,428	
C <sub>2</sub> F	0,965	0,825	-0,206	-0,614	0,076	0,126	0,620	
C. libre	0,943	0,680	0,098	0,148	0,713	0,205	-0,312	
MS	0,994	0,695	0,711	-0,023	-0,221	-0,325	0,188	
MF	0,994	0,962	-0,300	0,857	-0,346	0,119	-0,062	
SC	0,990	0,921	0,848	0,311	0,017	0,224	-0,234	
FC	1,000	0,915	0,934	0,139	-0,142	-0,055	-0,017	
S. Blaine	0,919	0,667	0,629	-0,373	0,351	0,099	-0,011	
Microt.	0,995	0,972	0,025	-0,414	-0,380	0,803	-0,102	
T. crist.	0,995	0,977	0,042	0,421	0,368	-0,810	0,084	-----

TABLA LXIX

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 50% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 50% de marga de Morón de la Frontera del total de marga (1 día).

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Var.expl.	4,728	2,941	2,306	2,170	1,305
R.flex.	-0,011	0,213	0,953	-0,118	0,158
R.compr.	0,331	-0,111	0,812	0,274	0,077
SO <sub>3</sub>	-0,342	0,050	0,499	0,057	-0,329
C <sub>3</sub> S	0,961	-0,101	-0,106	-0,058	0,036
C <sub>2</sub> S	-0,927	0,010	-0,025	0,145	0,113
C <sub>3</sub> A	-0,236	0,903	0,095	-0,037	-0,154
C <sub>4</sub> AF	-0,400	-0,809	-0,173	-0,030	-0,323
C <sub>2</sub> F	-0,373	-0,326	0,172	-0,173	0,750
C. libre	-0,079	-0,309	0,508	0,063	-0,480
MS	0,720	-0,054	-0,126	0,247	0,246
MF	-0,063	0,923	0,023	0,029	-0,234
SC	0,859	0,062	0,247	-0,116	-0,335
FC	0,947	-0,008	0,056	0,058	-0,031
S.Blaine	0,437	-0,584	0,262	-0,071	0,018
Microt.	0,095	-0,011	-0,026	-0,982	0,018
T.crist.	-0,024	0,004	0,019	0,984	-0,036

TABLA LXX

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 50% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 50% de marga de Morón de la Frontera del total de marga (3 días). Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Val.propio			-	-	-	-	-
Var.expl.			4,984	3,643	2,382	1,873	1,127
%Var.acumu.			31,15	53,92	68,81	80,52	87,57
R.flex.	0,965	0,895	0,103	0,929	0,107	0,044	0,091
R.compr.	0,883	0,746	0,376	0,638	0,172	-0,227	0,342
SO <sub>3</sub>	0,875	0,689	-0,305	0,205	0,642	0,346	-0,151
C <sub>3</sub> S	0,989	0,948	0,740	0,306	-0,516	-0,094	-0,179
C <sub>2</sub> S	0,991	0,975	-0,764	-0,398	0,397	-0,096	0,260
C <sub>3</sub> A	1,000	0,904	0,631	-0,404	0,228	0,517	-0,153
C <sub>4</sub> AF	0,964	0,726	-0,612	0,580	-0,011	0,064	-0,104
C <sub>2</sub> F	0,932	0,717	-0,645	-0,026	-0,312	-0,330	-0,308
C.libre	0,952	0,892	-0,024	0,386	0,795	0,153	0,297
MS	0,930	0,952	0,349	-0,537	-0,044	-0,502	0,537
MF	0,962	0,951	0,738	-0,389	0,230	0,451	-0,004
SC	1,000	0,971	0,795	0,527	-0,040	0,164	-0,183
FC	1,000	0,922	0,893	0,066	-0,112	-0,187	0,270
S.Blaine	0,897	0,770	-0,027	0,777	0,143	-0,378	-0,049
Microt.	1,000	0,978	-0,389	0,214	-0,553	0,575	0,380
T.crist.	0,645	0,969	0,416	-0,242	0,575	-0,535	-0,349



TABLA LXXI

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 50% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 50% de marga de Morón de la Frontera del total de marga (3 días).

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Var.expl.	3,502	3,060	2,566	2,170	2,093
R.flex.	0,360	-0,258	0,686	0,147	-0,268
R.compr.	0,241	-0,170	0,771	-0,022	0,215
SO <sub>3</sub>	-0,373	0,188	0,277	-0,114	-0,619
C <sub>3</sub> S	0,951	0,007	-0,074	-0,010	0,132
C <sub>2</sub> S	-0,980	-0,150	0,017	-0,006	0,086
C <sub>3</sub> A	0,165	0,912	-0,141	-0,107	-0,154
C <sub>4</sub> AF	-0,067	-0,498	0,164	0,225	-0,460
C <sub>2</sub> F	-0,087	-0,670	-0,485	-0,064	-0,139
C. libre	-0,427	0,190	0,824	-0,096	-0,202
MS	-0,259	0,049	0,102	-0,146	0,958
MF	0,163	0,923	-0,007	-0,086	0,018
SC	0,823	0,267	0,294	-0,087	-0,196
FC	0,501	0,262	0,324	-0,102	0,539
S.Blaine	0,259	-0,587	0,503	-0,208	-0,155
Microt.	-0,021	0,056	0,043	1,003	-0,007
T.crist.	-0,001	0,008	-0,023	-0,982	0,021

TABLA LXXII

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 50% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 50% de marga de Morón de la Frontera del total de marga (7 días). Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

VARIABLES	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Val. propio			-	-	-	-	-
Var. expl.			5,053	3,084	2,271	1,722	1,291
%Var. acumu.			31,58	50,86	65,05	75,82	83,89
R. flex.	0,970	0,561	0,534	0,103	0,288	0,351	0,243
R. compr.	0,962	0,871	0,702	-0,034	0,463	0,152	0,375
SO <sub>2</sub>	0,937	0,542	-0,245	0,099	0,499	0,422	-0,213
C <sub>3</sub> S	0,995	0,984	0,868	0,012	-0,384	-0,028	-0,288
C <sub>2</sub> S	0,997	0,984	-0,828	-0,122	0,336	-0,124	0,395
C <sub>3</sub> A	0,998	0,945	-0,383	0,884	-0,014	0,119	-0,046
C <sub>4</sub> AF	0,993	0,801	-0,220	-0,719	0,233	0,195	-0,378
C <sub>2</sub> F	0,969	0,512	-0,301	-0,563	-0,192	-0,261	0,016
C. libre	0,988	0,798	0,167	-0,142	0,724	0,444	0,169
MS	0,998	0,879	0,622	0,050	-0,147	-0,369	0,577
MF	0,996	0,963	-0,221	0,951	-0,020	0,104	-0,003
SC	0,997	0,971	0,824	0,211	-0,040	0,304	-0,393
FC	0,999	0,931	0,931	0,165	-0,153	-0,005	0,122
S. Blaine	0,816	0,689	0,574	-0,595	0,062	0,042	-0,002
Microt.	0,996	0,994	-0,245	-0,194	-0,629	0,656	0,267
T. crist.	0,996	0,992	0,305	0,205	0,635	-0,627	-0,247

TABLA LXXIII

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 50% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 50% de marga de Morón de la Frontera del total de marga (7 días).

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Var. expl.	3,535	3,130	2,301	2,056	2,002
R. flex.	0,179	0,049	0,676	0,074	0,115
R. compr.	0,063	-0,142	0,800	-0,136	0,305
SO <sub>3</sub>	-0,089	0,157	0,347	-0,040	-0,599
C <sub>3</sub> S	0,944	-0,151	-0,159	-0,023	0,146
C <sub>2</sub> S	-1,028	0,026	0,120	-0,013	0,033
C <sub>3</sub> A	-0,068	0,944	-0,095	0,010	-0,122
C <sub>4</sub> AF	-0,022	-0,670	-0,023	0,010	-0,618
C <sub>2</sub> F	-0,286	0,515	-0,340	0,055	0,056
C. libre	-0,199	-0,137	0,847	-0,053	-0,258
MS	-0,018	-0,070	0,223	-0,084	0,898
MF	0,019	0,980	-0,034	-0,016	-0,022
SC	0,966	0,070	0,163	-0,043	-0,202
FC	0,629	0,004	0,252	-0,033	0,443
S. Blaine	0,295	-0,682	0,241	-0,008	0,072
Microt.	0,016	-0,002	0,066	1,010	0,010
T. crist.	0,017	0,007	-0,017	-0,997	0,010

TABLA LXXIV

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 50% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 50% de marga de Morón de la Frontera (28 días). Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Val. propio			-	-	-	-	-
Var. expl.			4,499	3,149	2,224	1,773	1,635
%Var. acumu.			28,11	47,80	61,71	72,79	83,01
R. flex.	0,930	0,765	-0,001	0,220	-0,306	0,741	0,272
R. compr.	0,941	0,757	0,469	0,107	0,323	0,585	0,282
SO <sub>3</sub>	0,860	0,654	-0,422	0,064	0,411	-0,185	0,519
C <sub>3</sub> S	0,996	0,964	0,914	0,022	-0,196	-0,287	-0,083
C <sub>2</sub> S	0,991	0,951	-0,858	-0,129	0,151	0,415	-0,063
C <sub>3</sub> A	0,997	0,956	-0,408	0,866	-0,093	-0,160	0,071
C <sub>4</sub> AF	0,992	0,739	-0,120	-0,749	0,316	-0,161	0,195
C <sub>2</sub> F	0,970	0,587	-0,255	-0,581	-0,170	-0,022	-0,394
C. libre	0,965	0,735	0,063	-0,139	0,586	0,129	0,594
MS	0,991	0,763	0,595	0,058	-0,180	0,561	-0,244
MF	0,993	0,974	-0,254	0,940	-0,094	-0,081	0,098
SC	0,995	0,965	0,795	0,225	0,095	-0,427	0,302
FC	1,000	0,909	0,925	0,171	-0,099	0,095	0,074
S. Blaine	0,761	0,590	0,572	-0,456	0,213	0,087	0,048
Microt.	0,996	0,990	-0,118	-0,325	-0,782	-0,037	0,508
T. crist.	0,996	0,977	0,176	0,345	0,774	0,062	-0,474

TABLA LXXV

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con un 50% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 50% de marga de Morón de la Frontera del total de marga (28 días).

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Var.expl.	3,842	3,179	2,203	2,066	1,881
R.flex.	-0,256	0,189	0,277	0,830	-0,010
R.compr.	0,103	-0,144	-0,212	0,728	0,298
SO <sub>3</sub>	-0,163	0,144	0,038	-0,188	0,725
C <sub>3</sub> S	0,923	-0,127	0,028	-0,049	-0,265
C <sub>2</sub> S	-0,997	-0,008	-0,073	0,141	0,102
C <sub>3</sub> A	-0,060	0,959	-0,045	-0,113	0,061
C <sub>4</sub> AF	-0,143	-0,701	0,088	-0,267	0,376
C <sub>2</sub> F	-0,376	-0,475	0,069	-0,239	-0,377
C. libre	0,017	-0,241	-0,081	0,207	0,796
MS	0,154	-0,153	-0,136	0,651	-0,428
MF	0,043	0,982	-0,071	0,017	0,055
SC	0,992	0,082	0,008	-0,121	0,239
FC	0,772	-0,053	-0,027	0,368	-0,120
S.Blaine	0,320	-0,621	-0,090	0,156	0,083
Microt.	0,113	-0,058	1,012	0,076	0,022
T.crist.	-0,066	0,063	-0,998	-0,027	-0,007

TABLA LXXVI

Análisis factorial. Correlaciones parciales correspondientes a las muestras con marga de Lloseta.

Variables	Rf(1d)	Rc(1d)	Rf(3d)	Rc(3d)	Rf(7d)	Rc(7d)	Rf(28d)	Rc(28d)
R.flex.	1,000		1,000		1,000		1,000	
R.compr.	0,873	1,000	0,535	1,000	0,359	1,000	0,215	1,000
K <sub>2</sub> O	0,257	-0,319	0,260	-0,225	0,309	0,210	-0,331	0,035
SO <sub>3</sub>	-0,521	0,485	-0,338	0,402	-0,122	0,595	-0,288	0,215
C <sub>3</sub> S	-0,081	0,064	-0,005	-0,105	-0,261	-0,177	-0,001	0,093
C <sub>2</sub> S	0,420	-0,376	0,304	-0,373	-0,128	-0,424	0,255	-0,137
C <sub>3</sub> A	-0,466	0,394	-0,198	0,131	0,022	0,367	-0,346	-0,087
C <sub>4</sub> AF	-0,357	0,277	-0,050	-0,094	-0,044	0,229	-0,303	-0,241
C.libre	-0,574	0,497	-0,413	0,382	-0,041	0,368	-0,370	0,215
MS	-0,258	0,203	-0,021	-0,045	0,050	0,205	-0,291	-0,206
MF	0,131	-0,191	0,178	-0,422	-0,243	-0,535	-0,295	-0,387
SC	0,510	-0,449	0,376	-0,407	-0,048	-0,425	0,275	-0,240
FC	0,208	-0,211	0,208	-0,145	0,311	-0,040	0,157	-0,065
S.Blaine	0,123	0,139	-0,005	0,437	0,361	0,309	0,169	0,617
Micrt.	0,443	-0,364	0,253	-0,191	-0,129	0,413	-0,138	-0,052
T.crist.	0,440	-0,350	0,265	-0,180	-0,098	0,408	-0,114	-0,035

TABLA LXXVII

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con marga de Lloseta (1 día). Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Val.propio			4,929	3,021	2,253	1,826	1,136
Var.expl.			4,022	3,369	1,746	1,913	0,801
%Var.acumu.			25,13	46,19	57,11	69,00	74,08
R.flex.	0,922	0,845	0,450	0,010	0,718	0,347	0,082
R.compr.	0,938	0,962	0,745	0,175	0,578	0,168	0,121
K <sub>2</sub> O	0,526	0,178	0,047	-0,115	-0,147	-0,224	0,302
SO <sub>3</sub>	0,986	0,620	0,545	-0,191	0,291	0,447	-0,050
C <sub>3</sub> S	0,998	0,960	0,411	0,821	0,009	-0,322	-0,117
C <sub>2</sub> S	0,999	0,962	-0,411	-0,773	-0,110	0,424	0,056
C <sub>3</sub> A	0,997	0,968	-0,650	-0,394	0,538	-0,310	-0,071
C <sub>4</sub> AF	0,990	0,881	0,286	-0,199	-0,243	-0,564	0,618
C.libre	0,997	0,164	0,017	-0,334	-0,118	0,014	0,194
MS	0,997	0,913	0,310	0,281	-0,418	0,696	-0,281
MF	0,608	0,385	-0,356	-0,372	0,278	-0,161	-0,133
SC	0,999	0,821	0,440	0,630	0,206	-0,435	-0,010
FC	0,862	0,720	0,423	0,674	0,145	0,021	-0,257
S.Blaine	0,674	0,510	0,469	0,225	0,298	0,301	0,246
Microt.	0,999	0,978	-0,820	0,526	0,081	0,102	0,113
T.crist.	0,999	0,980	0,798	-0,561	-0,074	-0,125	-0,095

TABLA LXXVIII

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con marga de Lloseta (1 día).

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Var.expl.	3,354	2,344	2,117	2,023	1,402
R.flex.	-0,020	0,911	0,013	0,200	-0,132
R.compr.	0,273	0,830	0,180	0,057	0,022
K <sub>2</sub> O	-0,044	-0,035	0,008	-0,007	0,412
SO <sub>3</sub>	-0,196	0,561	0,308	-0,118	-0,204
C <sub>3</sub> S	0,937	-0,055	0,000	-0,169	0,021
C <sub>2</sub> S	-0,968	-0,007	-0,008	0,028	-0,100
C <sub>3</sub> A	-0,140	0,004	-0,150	0,908	-0,111
C <sub>4</sub> AF	0,079	-0,025	0,152	0,026	0,889
C. libre	-0,314	0,017	0,092	-0,025	0,218
MS	-0,156	-0,037	0,051	-0,852	-0,427
MF	-0,147	-0,077	0,066	0,547	-0,149
SC	0,888	0,102	0,068	0,082	0,138
FC	0,681	0,130	0,039	-0,197	-0,261
S.Blaine	0,028	0,686	-0,118	-0,195	0,118
Microt.	-0,040	-0,006	-0,977	0,033	-0,039
T.crist.	0,020	0,002	0,977	0,000	0,062



TABLA LXXIX

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con marga de Lloseta (3 días). Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

VARIABLES	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Val. propio			5,062	2,942	2,289	1,631	1,162
Var. expl.			5,062	2,941	2,288	1,631	1,161
%Var. acumu.			31,64	50,02	64,33	74,52	81,78
R. flex.	0,741	0,783	0,587	0,393	-0,271	0,421	-0,186
R. compr.	0,848	0,853	0,806	0,189	-0,065	0,404	0,024
K <sub>2</sub> O	0,513	0,382	-0,098	0,138	0,554	0,026	0,217
SO <sub>3</sub>	0,984	0,798	0,470	0,653	-0,243	0,270	0,140
C <sub>3</sub> S	0,998	0,977	0,773	-0,548	0,198	-0,049	-0,194
C <sub>2</sub> S	0,999	0,983	-0,754	0,531	-0,339	-0,069	0,115
C <sub>3</sub> A	0,997	0,889	-0,679	-0,139	0,068	0,636	-0,021
C <sub>4</sub> AF	0,989	0,787	-0,031	0,143	0,834	-0,196	-0,177
C. libre	0,997	0,863	-0,199	0,294	0,328	-0,194	0,770
MS	0,997	0,913	0,425	0,153	-0,650	-0,532	0,051
MF	0,665	0,613	-0,510	0,073	0,075	0,584	-0,028
SC	0,999	0,936	0,720	-0,390	0,463	0,141	0,179
FC	0,862	0,807	0,816	-0,310	-0,108	0,035	0,178
S. Blaine	0,672	0,666	0,604	0,244	-0,038	0,236	0,429
Microt.	0,998	0,916	-0,321	-0,791	-0,322	0,124	0,262
T. crist.	0,998	0,913	0,278	0,797	0,350	-0,117	-0,253

TABLA LXXX

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con marga de Lloseta (3 días).

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Var. expl.	3,639	2,912	2,354	2,327	1,427
R. flex.	0,061	0,789	0,066	0,162	-0,324
R. compr.	0,412	0,775	0,040	0,074	-0,100
K <sub>2</sub> O	0,125	-0,073	0,221	0,271	0,413
SO <sub>3</sub>	-0,199	0,842	-0,072	0,177	0,065
C <sub>3</sub> S	0,911	-0,053	-0,194	-0,011	-0,247
C <sub>2</sub> S	-0,976	-0,004	-0,038	-0,011	0,140
C <sub>3</sub> A	-0,182	0,011	0,868	-0,246	-0,168
C <sub>4</sub> AF	0,280	-0,385	0,125	0,704	0,165
C. libre	-0,208	0,032	-0,086	-0,030	0,926
MS	-0,254	0,136	-0,887	-0,151	-0,094
MF	-0,216	0,157	0,745	-0,079	-0,046
SC	0,929	0,149	0,046	-0,009	0,190
FC	0,636	0,341	-0,291	-0,258	0,020
S. Blaine	0,220	0,698	-0,073	-0,085	0,343
Microt.	0,146	-0,286	0,159	-0,871	0,033
T. crist.	-0,162	0,268	-0,128	0,879	-0,011

TABLA LXXXI

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con marga de Lloseta (7 días). Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5	FAC 6
Val.propio			5,007	2,922	2,239	1,646	1,168	1,059
Var.expl.			3,546	1,870	3,054	1,926	1,496	0,837
%Var.acumu.			22,16	33,85	52,94	64,98	74,33	79,57
R.flex.	0,794	0,936	0,302	-0,144	0,465	0,209	0,156	-0,019
R.compr.	0,927	0,683	0,501	0,077	0,436	0,282	0,369	0,143
K <sub>2</sub> O	0,584	0,189	-0,076	0,233	0,010	-0,219	0,040	0,283
SO <sub>3</sub>	0,988	0,998	-0,079	0,026	0,714	0,598	0,352	0,021
C <sub>3</sub> S	0,999	0,997	0,937	0,298	0,001	0,044	-0,168	-0,020
C <sub>2</sub> S	0,999	0,999	-0,908	-0,420	0,003	0,001	-0,001	0,000
C <sub>3</sub> A	0,997	0,993	-0,307	-0,236	-0,413	-0,357	0,666	-0,317
C <sub>4</sub> AF	0,989	0,963	0,040	0,263	0,179	-0,581	0,097	0,717
C.libre	0,996	0,999	-0,661	0,750	-0,016	0,004	-0,004	0,000
MS	0,997	0,996	0,063	-0,142	0,266	0,598	-0,729	-0,115
MF	0,797	0,374	-0,250	-0,196	-0,132	-0,236	0,394	-0,211
SC	0,999	0,998	0,686	0,705	0,040	0,041	0,159	-0,048
FC	0,870	0,783	0,606	0,416	0,121	0,414	-0,069	-0,229
S.Blaine	0,710	0,361	0,164	0,251	0,299	0,410	0,078	0,090
Microt.	0,998	0,999	0,096	-0,144	-0,942	0,279	0,062	0,018
T.crist.	0,998	0,997	-0,131	0,154	0,924	-0,315	-0,046	-0,013

TABLA LXXXII

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con marga de Lloseta (7 días).

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5	FAC 6
Var.expl.	3,443	2,075	2,055	1,818	1,486	1,303
R.flex.	0,056	0,198	0,000	0,397	-0,086	-0,293
R.compr.	0,251	0,008	0,077	0,664	0,133	-0,252
K <sub>2</sub> O	-0,004	0,012	-0,011	-0,009	0,398	0,121
SO <sub>3</sub>	-0,254	0,144	-0,012	0,950	-0,118	0,081
C <sub>3</sub> S	0,892	-0,001	-0,192	-0,138	-0,003	-0,256
C <sub>2</sub> S	-0,957	0,010	0,032	0,046	-0,073	0,156
C <sub>3</sub> A	-0,062	-0,115	0,939	-0,064	-0,150	0,022
C <sub>4</sub> AF	-0,056	0,124	-0,049	-0,005	0,971	-0,107
C. libre	-0,002	0,109	0,030	0,003	0,083	0,975
MS	-0,182	0,063	-0,858	-0,021	-0,437	-0,029
MF	-0,115	0,050	0,567	-0,032	-0,119	-0,006
SC	0,996	0,035	0,121	0,092	0,066	0,208
FC	0,736	-0,004	-0,149	0,173	-0,312	0,124
S.Blaine	0,111	-0,048	-0,175	0,501	0,015	0,130
Microt.	-0,026	-0,989	0,030	0,000	-0,031	-0,031
T.crist.	0,016	0,993	0,000	-0,019	0,050	0,053

TABLA LXXXI

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con marga de Lloseta (28 días). Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Val. propio			4,774	2,807	2,288	1,857	1,304
Var. expl.			2,615	4,181	1,855	1,421	1,205
%Var. acumu.			16,34	42,48	54,07	62,96	70,50
R. flex.	0,781	0,494	0,111	-0,024	-0,199	0,384	-0,542
R. compr.	0,769	0,367	0,204	0,523	-0,188	0,125	-0,030
K <sub>2</sub> O	0,530	0,204	0,144	0,004	0,369	-0,061	0,209
SO <sub>3</sub>	0,983	0,430	0,448	-0,020	-0,439	0,000	0,102
C <sub>3</sub> S	0,998	0,973	-0,079	0,977	-0,047	0,043	-0,094
C <sub>2</sub> S	0,999	0,976	0,049	-0,971	-0,049	-0,166	-0,011
C <sub>3</sub> A	0,997	0,927	-0,310	-0,536	0,204	0,708	-0,013
C <sub>4</sub> AF	0,991	0,956	0,441	0,146	0,854	-0,092	-0,047
C. libre	0,997	0,812	0,205	-0,274	0,167	-0,102	0,811
MS	0,998	0,918	0,036	0,159	-0,670	-0,662	-0,071
MF	0,713	0,376	-0,081	-0,417	0,060	0,437	0,028
SC	0,999	0,942	0,044	0,873	0,076	0,254	0,327
FC	0,859	0,754	-0,049	0,755	-0,375	0,039	0,202
S. Blaine	0,766	0,194	0,166	0,304	-0,178	-0,093	0,185
Microt.	0,998	0,988	-0,988	-0,023	0,107	-0,018	0,019
T. crist.	0,998	0,990	0,992	-0,010	-0,073	0,035	-0,004

TABLA LXXXIV

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a muestras con marga de Lloseta (28 días).

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Var. expl.	3,670	2,436	1,987	1,617	1,347
R. flex.	0,018	0,229	0,229	-0,092	-0,618
R. compr.	0,520	0,208	-0,027	-0,042	-0,134
K <sub>2</sub> O	0,006	0,030	0,030	0,344	0,239
SO <sub>3</sub>	0,019	0,544	-0,049	-0,289	0,067
C <sub>3</sub> S	0,863	-0,166	-0,195	0,101	-0,227
C <sub>2</sub> S	-0,949	0,138	0,029	-0,148	0,137
C <sub>3</sub> A	-0,102	-0,155	0,890	-0,130	-0,047
C <sub>4</sub> AF	-0,011	0,163	-0,054	0,972	-0,002
C. libre	-0,063	0,170	0,178	-0,005	0,867
MS	-0,189	0,067	-0,826	-0,431	-0,022
MF	-0,129	0,037	0,563	-0,128	0,011
SC	1,001	-0,026	0,165	0,092	0,175
FC	0,777	-0,025	-0,117	-0,296	0,074
S. Blaine	0,281	0,155	-0,145	-0,090	0,147
Microt.	0,022	-0,970	0,059	-0,217	0,051
T. crist.	-0,039	0,972	-0,026	0,237	-0,033

Poco puede deducirse directamente de las correlaciones parciales entre las distintas observables (tablas IL, LVIII, LXVII y LXXVI) cabiendo destacar, no obstante, la existencia en muchos casos de una buena correlación entre las resistencias a la flexotracción y a la compresión.

Conviene recordar llegado a este punto, y antes de entrar en la interpretación de los coeficientes factoriales, que la varianza de cada observable es un vector unitario, con una cierta dirección y sentido cuya proyección sobre cada factor da el porcentaje de dicha observable que se relaciona linealmente con dicho factor. Asimismo, observables que caigan sobre el mismo factor (los factores están incorrelacionados entre sí) están correlacionadas linealmente. Es decir, que todas aquellas variables que caigan significativamente sobre los mismos factores que los vectores resistencias están relacionadas de una manera lineal con estos y estarán ejerciendo una influencia importante sobre los valores alcanzados por dichas resistencias a la flexotracción y a la compresión. Recordemos además, que la suma de los cuadrados de los coeficientes de los diferentes factores para una variable dada se denomina comunalidad de dicha variable y se corresponde con la fracción de variabilidad de dicha observable cubierta por los factores en cuestión. Dentro de un factor, la suma de los cuadrados de los coeficientes correspondientes a la totalidad de las observables es la fracción de la varianza total explicada o cubierta por dicho factor.

Se indicará entre paréntesis con un signo + ó - si un aumento en el valor de una determinada observable conlleva un aumento o disminución del valor de la resistencia, respectivamente.

De los resultados del análisis factorial correspondientes a las muestras con un 100% de marga de Alcalá de Guadaíra del total de marga, tablas L a la LVII, puede deducirse que se destacan como variables más influyentes en las resistencias a un día los contenidos de  $C_4AF(-)$ ,  $C_2F(+)$  y el módulo de fundentes  $MF(-)$ .

A tres días son ya más importantes el contenido de  $C_3S(+)$ ,  $C_2S(-)$  y cal libre  $(-)$ , destacándose el contenido de microtensiones  $(-)$  y tamaño cristalino  $(+)$  del  $C_3S$ , fase mayoritaria del clinker.

A 7 días los resultados son confusos. Parece claro, no obstante, que los contenidos de  $C_3S(+)$ ,  $C_2S(-)$  y cal libre  $(-)$ , así como el estándar de cal  $SC(+)$ , son los más influyentes en los valores alcanzados por las resistencias.

A los 28 días las resistencias están muy influenciadas por los contenidos de  $C_3S(+)$  y  $C_2S(-)$ , teniendo cierta importancia, además, el contenido de cal libre y el estándar de cal. La resistencia a la flexotracción parece estar bastante correlacionada con la concentración de microtensiones  $(-)$  del  $C_3S$  y su tamaño cristalino  $(+)$ . También tiene alguna influencia el contenido de  $SO_3$ .

El peso que tiene cada una de las variables sobre las resistencias a la flexotracción y a la compresión del mortero viene dado, aproximadamente, por el producto de los coeficientes correspondientes a las resistencias (nos referimos a cualquiera de las dos, es decir, a la resistencia a la flexotracción o a la compresión) por el coeficiente



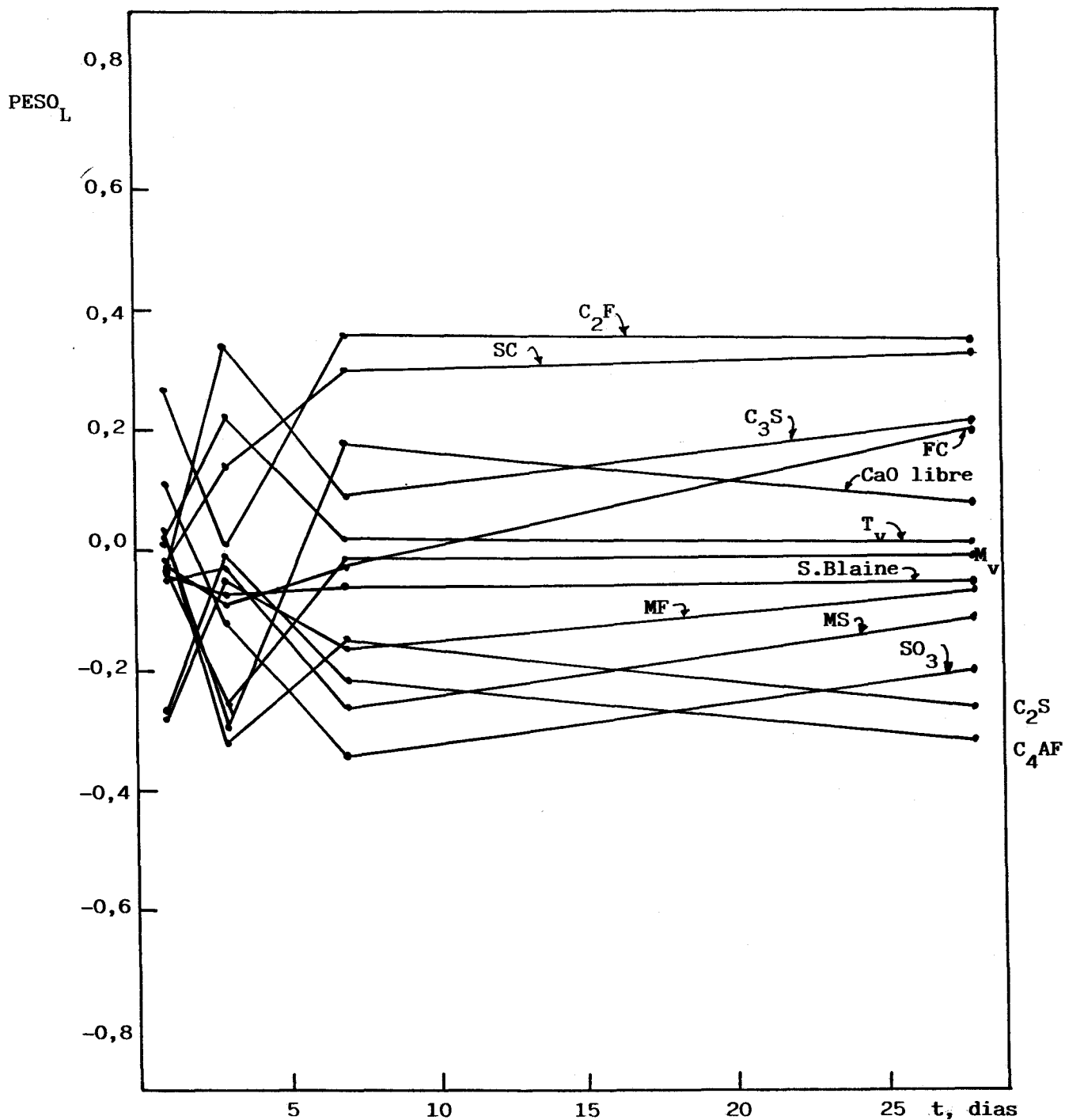


fig. 87 Peso lineal de las variables influyentes sobre la resistencia a la compresión del mortero en función del tiempo de envejecimiento del mismo en el caso de cementos que emplearon como marga un 100% de la de Alcalá de Guadaira.

correspondiente a la variable influyente en cuestión. Como en general la comunalidad de una variable se reparte de forma significativa entre varios factores, la influencia de cualquier variable sobre la resistencia del mortero "por diversos conceptos" (esto es, sobre diversos factores) sería la suma de los anteriores productos extendida a todos los factores.

En la figura 87 se representan los pesos de cada una de estas variables (suponiendo, claro está, una influencia "lineal") sobre las resistencias a la compresión para morteros correspondientes a clinker elaborados empleando como única marga la de Alcalá de Guadaíra.

En la tabla LXXXV se muestran los "pesos" o influencias de las variables sobre las resistencias a la compresión en la totalidad de los casos (distintos morteros y tiempos de envejecimiento) considerados en la presente tesis.

En el caso de las muestras que emplearon un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y un 33% de la marga total de Morón de la Frontera, tablas LVIII a la LXVI, se observa que el mayor coeficiente correspondiente a la resistencia a la compresión a un día cae sobre el factor 3 (tabla LIX), siendo de 0,531 lo que equivale al 28% de su variabilidad sobre dicho factor, sobre el que caen prácticamente la totalidad de los vectores correspondientes al contenido de  $C_3S(+)$  y  $C_2S(-)$ , así como el  $SC(+)$  y factor de cocibilidad  $FC(+)$ . Sobre el factor 1 cae

TABLA LXXXV

Peso influyente de diversas variables sobre las resistencias a la compresión a uno, 3, 7 y 28 días de envejecimiento del mortero. M1: 100% de marga de Alcalá de Guadaíra; M4: 67% de marga de A. de G. y 33% de marga de Morón de la Frontera; M5: 50% de marga de A. de G. y 50% de marga de M. de la F.; M6: marga de LLoseta. Se han tomado los coeficientes correspondientes a los factores rotados.

Variable	M1	M4	M5	M6	
K <sub>2</sub> O	-	-	-	-0,030	
SO <sub>3</sub>	0,117	-0,075	0,276	0,456	
C <sub>3</sub> S	-0,040	0,467	0,230	0,200	
C <sub>2</sub> S	0,027	-0,493	-0,279	-0,272	
C <sub>3</sub> A	-	-0,156	-0,123	-0,012	
C <sub>4</sub> AF	-0,277	0,185	-0,216	0,049	
C <sub>2</sub> F	0,270	0,017	0,062	-	
CaO libre	0,032	0,147	0,400	-0,051	(1 día)
MS	-0,050	-0,254	0,228	-0,122	
MF	-0,289	-0,046	-0,114	-0,064	
SC	0,024	0,542	0,420	0,347	
FC	-0,029	0,496	0,373	0,283	
S. Blaine	-0,032	-0,190	0,404	0,547	
Microt.	-0,043	0,080	-0,256	-0,190	
T.crist.	0,011	-0,083	0,273	0,184	
K <sub>2</sub> O	-	-	-	-0,017	
SO <sub>3</sub>	-0,121	-0,414	-0,038	0,574	
C <sub>3</sub> S	0,345	0,733	0,199	0,350	
C <sub>2</sub> S	-0,321	-0,708	-0,178	-0,421	
C <sub>3</sub> A	-	0,109	-0,254	-0,033	
C <sub>4</sub> AF	-0,042	0,097	0,091	-0,142	
C <sub>2</sub> F	0,013	0,008	-0,309	-	
CaO libre	-0,302	-0,276	0,458	-0,159	(3 días)
MS	0,029	-0,338	0,217	-0,036	
MF	-0,049	0,056	-0,117	0,061	
SC	0,140	0,660	0,339	0,480	
FC	0,094	0,530	0,444	0,493	
S. Blaine	0,080	-0,404	0,521	0,588	
Microt.	-0,261	0,071	-0,005	-0,222	
T.crist.	0,228	-0,073	0,006	0,201	

TABLA LXXXV (ter.)

Variables	M1	M4	M5	M6	
K <sub>2</sub> O	-	-	-	0,014	
SO <sub>3</sub>	-0,344	-0,351	0,072	0,530	
C <sub>3</sub> S	0,093	0,448	0,001	0,181	
C <sub>2</sub> S	-0,151	-0,492	0,039	-0,256	
C <sub>3</sub> A	-	0,097	-0,025	-0,012	
C <sub>4</sub> AF	-0,218	0,210	-0,114	0,135	
C <sub>2</sub> F	0,359	0,167	-0,353	-	
CaO libre	0,180	-0,313	0,613	-0,230	(7 dias)
MS	-0,266	-0,422	0,472	-0,176	
MF	-0,160	-0,028	-0,169	-0,020	
SC	0,300	0,319	0,125	0,277	
FC	0,027	0,034	0,380	0,215	
S. Blaine	0,060	-0,018	0,331	0,315	
Microt.	0,015	0,080	-0,080	-0,008	
T.crist.	0,021	-0,006	0,125	-0,007	
K <sub>2</sub> O	-	-	-	-0,038	
SO <sub>3</sub>	-0,204	-0,087	0,033	0,127	
C <sub>3</sub> S	0,215	0,145	-0,007	0,445	
C <sub>2</sub> S	-0,260	-0,200	0,046	-0,477	
C <sub>3</sub> A	-	-0,104	-0,198	-0,097	
C <sub>4</sub> AF	-0,310	0,248	-0,014	-0,011	
C <sub>2</sub> F	0,352	0,155	-0,271	-	
CaO libre	0,087	-0,092	0,441	-0,118	(28 dias)
MS	-0,111	-0,374	0,413	-0,409	
MF	-0,071	-0,206	-0,093	-0,071	
SC	0,331	0,101	0,071	0,483	
FC	0,200	-0,168	0,325	0,404	
S. Blaine	0,060	-0,004	0,279	0,166	
Microt.	0,010	0,015	-0,132	-0,189	
T.crist.	0,012	0,038	0,173	0,177	

tambièn algo de la variabilidad de la resistencia a la compresiòn, aproximadamente un 16%, cayendo sobre este factor casi la totalidad del vector correspondiente al contenido de  $C_3A$  (-) , y en menor proporciòn el del contenido de  $C_4AF$  (+), el de cal libre (+) y el del mòdulo de fundentes MF (-).

Los coeficientes sobre los factores rotados confirman lo dicho en el pàrrafo anterior. Se destacan pues, a un día, las siguientes variables:  $C_3S$ (+),  $C_2S$  (-),  $SC$ (+),  $FC$ (+) y  $C_3A$ (-).

Aunque las resistencias a la compresiòn y a la flexotracciòn estàn parcialmente correlacionadas, se deduce, a la vista de los datos correspondientes al análisis factorial que dichas magnitudes no dependen exactamente de las mismas variables, y, concretamente en estas muestras que contienen un 67% de marga de Alcalá de Guadaíra y el resto hasta el 100% de la marga total de Moròn de la Frontera, el contenido de microtensiones y el tamaño cristalino parecen estar más relacionados con la resistencia a la flexotracciòn que con la resistencia a la compresiòn.

A tres días los factores rotados ponen de manifiesto que las variables más correlacionadas con la resistencia a la compresiòn son:  $C_3S$ (+),  $C_2S$  (-),  $SC$ (+) y  $FC$ (+). Tambièn , aunque en menor proporciòn, se correlacionan significativamente la cal libre (-) y  $SO_3$  (-), especialmente con la resistencia a la flexotracciòn.

A 7 días las variables más influyentes sobre la resistencia a la compresiòn son  $C_3S$  (+),  $C_2S$  (-),  $SC$ (+) y  $FC$ (+). Menos significaciòn tienen el mòdulo de silicatos  $MS$  (-) y el  $SO_3$  (-).

A 28 días la variabilidad de las resistencias está muy repartida entre todos los factores, lo que dificulta la

interpretación. No obstante, podrían mencionarse como influyentes las siguientes variables:  $C_3A$  (-),  $C_4AF$  (+),  $MF$  (-),  $C_3S$  (+),  $C_2S$  (-),  $SC$  (+) y  $FC$  (+).

En la figura 88 se representan los "pesos" que sobre las resistencias a la compresión y a la flexotracción, respectivamente, tienen cada una de las variables más influyentes en función del tiempo.

El análisis factorial correspondiente a las muestras con un 50% de marga de Alcalá de Guadaíra y el resto del total de marga de la de Morón de la Frontera permite concluir:

De las correlaciones parciales entre observables, sólo puede deducirse, al igual que en los casos anteriores la existencia de una buena correlación entre las resistencias a la compresión y flexotracción.

A un día, las resistencias se relacionan fundamentalmente con las siguientes variables:  $C_3S$  (+),  $C_2S$  (-),  $SC$  (+),  $FC$  (+),  $MS$  (+), Superficie específica Blaine (+), Calibre (+),  $SO_3$  (+) y  $C_3A$  (+). Sobre la resistencia a la flexotracción influyen notablemente el contenido de microtensiones (+) y tamaño cristalino (-) del  $C_3S$ , si bien, de acuerdo con los factores rotados, estas dos últimas variables también ejercen una influencia apreciable sobre la resistencia a la compresión.

A tres días las resistencias se relacionan con la calibre (+),  $C_3S$  (+),  $C_2S$  (-),  $SC$  (+); el contenido de

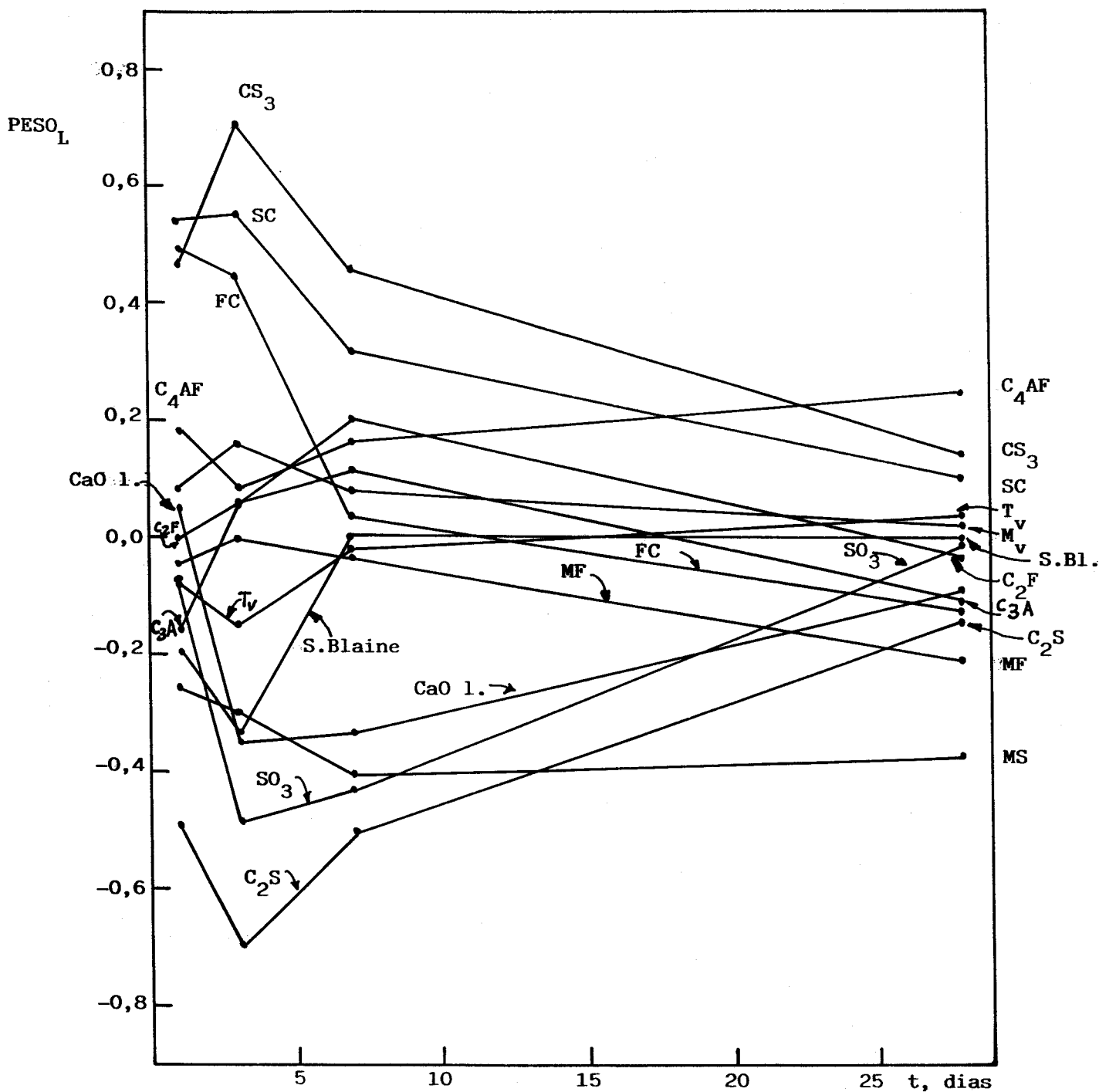


Fig. 88 Peso lineal de las variables influyentes sobre la resistencia a la compresión del mortero en función del tiempo de envejecimiento del mismo en el caso de cementos que emplearon como margas un 67% de la de Alcalá de Guadaíra y un 33% de la de Morón de la Frontera

microtensiones (+) y el tamaño cristalino del silicato tricálcico ejercen además cierta influencia sobre la resistencia a la flexotracción.

A 7 días, las resistencias se relacionan claramente con las siguientes variables:  $C_3S$  (+),  $C_2S$  (-),  $SC$ (+) y  $FC$ (+); en menor proporción con la cal libre (+).

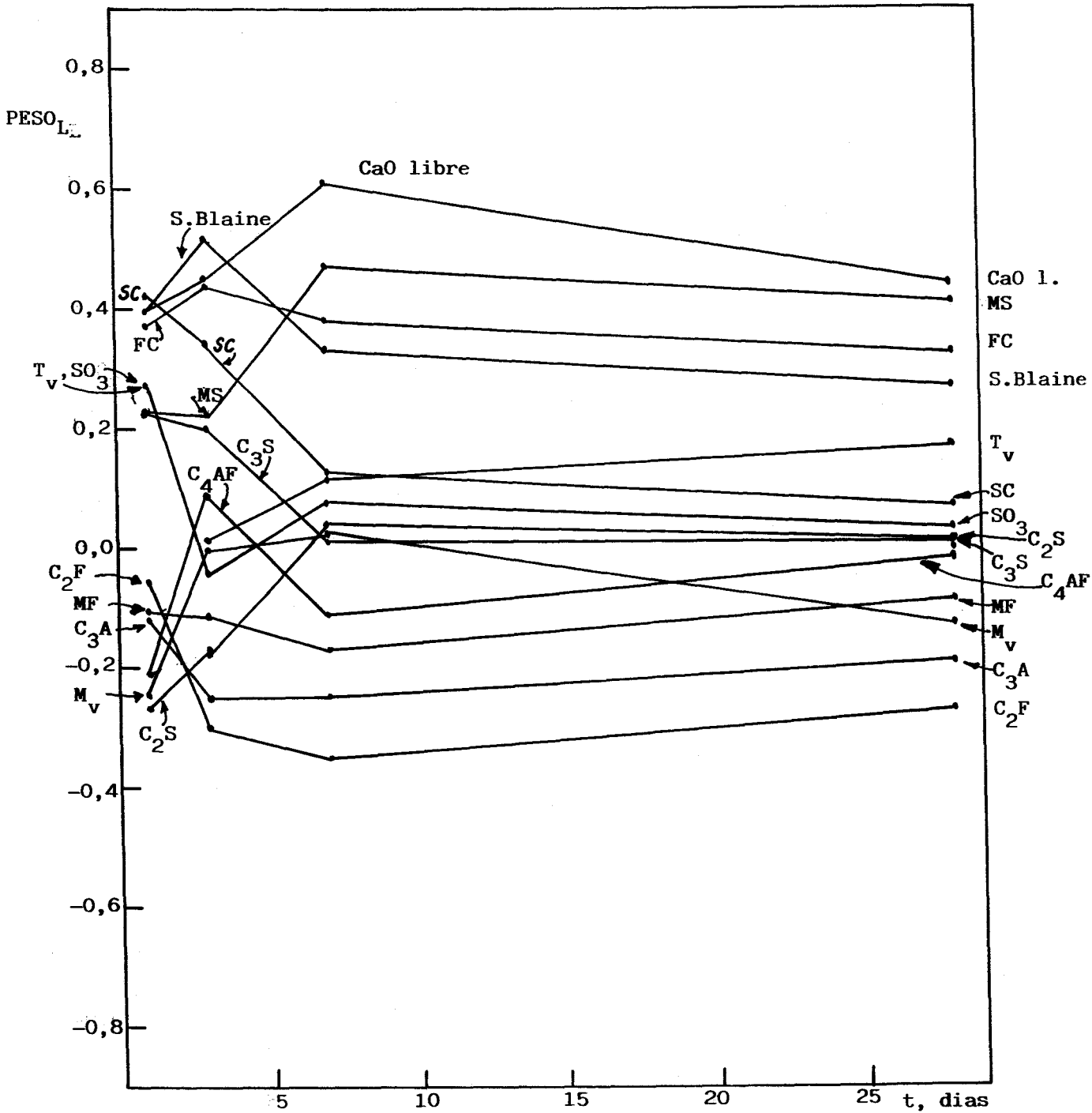
A 28 días las resistencias están influenciadas esencialmente por el  $MS$  (+) y, en menor medida, por los contenidos de  $C_3S$  (+) y  $C_2S$ (-), y el estándar de cal  $SC$  (+) y factor de cocibilidad  $FC$  (+).

En la figura 89 se representan los pesos de las variables que más influyen en los valores de las resistencias de los morteros normalizados en función del envejecimiento de los mismos.

De las correlaciones parciales correspondientes a las muestras con marga de Lloseta se infiere que el grado de correlación lineal entre las resistencias a la compresión y a la flexotracción disminuye a medida que aumenta el tiempo transcurrido antes de determinar el valor de dichas observables.

De acuerdo con los resultados del análisis factorial lo más destacado a un día es la influencia del contenido de microtensiones (-) y tamaño cristalino (+) del  $C_3S$ . Considerable influencia ejercen también las siguientes variables:  $C_3S$  (+),  $C_2S$  (-),  $C_3A$  (+),  $SO_3$  (+) y  $S.Blaine$  (+). Es destacable la influencia positiva del contenido de aluminato tricálcico sobre





g. 89 Peso lineal de las variables influyentes sobre la resistencia a la compresión del mortero en función del tiempo de envejecimiento del mismo en el caso de cementos que emplearon como margas un 50% de la de Alcalá de Guadaíra y un 50% de la de Morón de la Frontera

las resistencias.

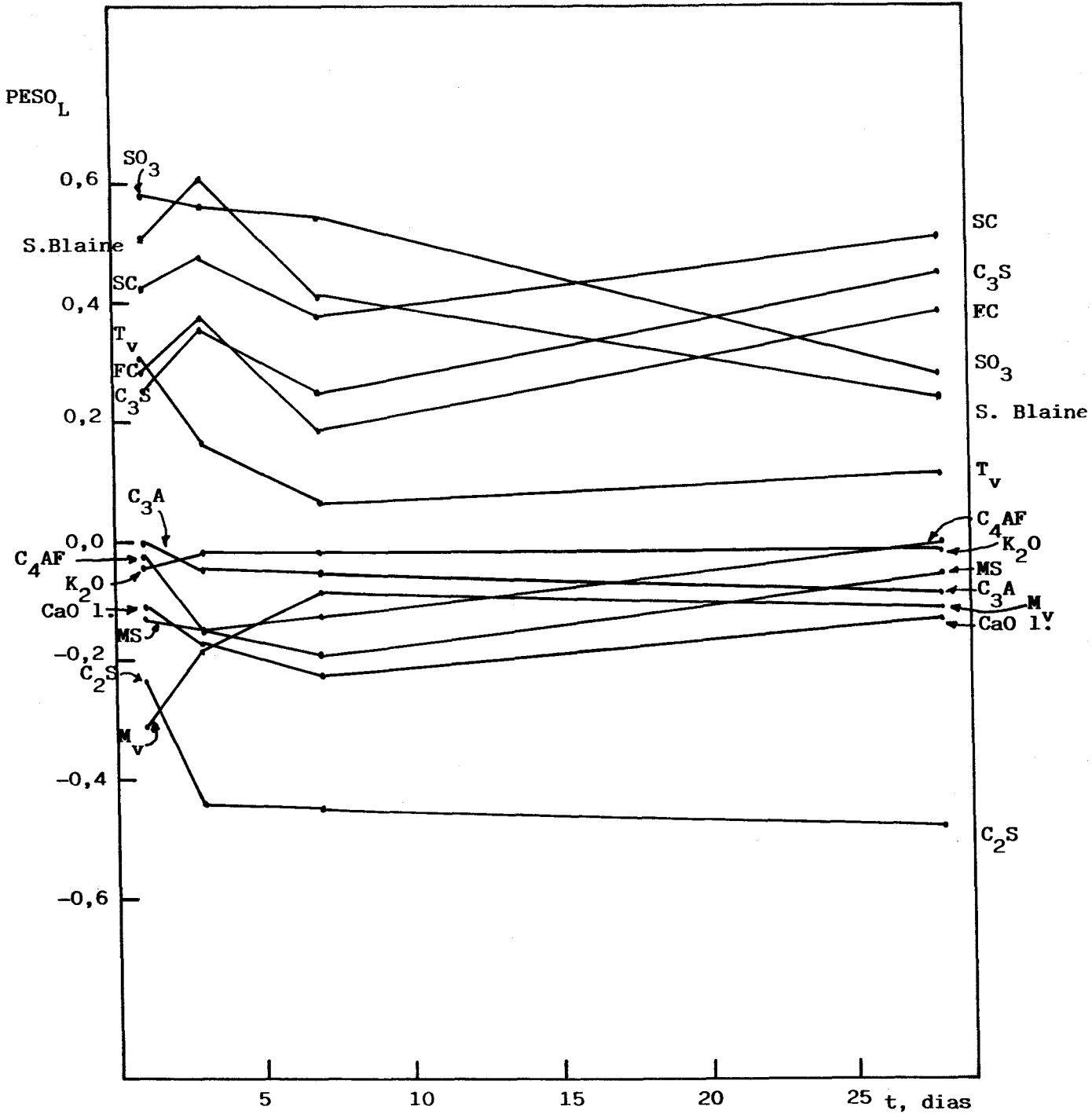
A tres días se destacan los contenidos de  $C_3S$  (+),  $C_2S$  (-), y  $SO_3$ . Asimismo se destacan SC (+), FC (+), S. Blaine (+), Microteniones (-) y tamaño cristalino (+) de la fase mayoritaria del clinker. Los coeficientes correspondientes a los factores rotados destacan la gran influencia del contenido de  $SO_3$  (+) y la S. Blaine (+), sobre las resistencias mecánicas.

A 7 días los coeficientes mayores corresponden a  $C_3S$  (+),  $C_2S$  (-), SC (+), FC (+), Cal libre (-),  $SO_3$  (+), Microtensiones (-), tamaño cristalino (+), y S. Blaine (+).

Con las resistencias a la compresión a 28 días se correlacionan de forma clara:  $C_3S$  (+),  $C_2S$  (-), SC (+), FC (+), así como el contenido de microtensiones (-) y el tamaño cristalino (+) del  $C_3S$ .

En la figura 90 se representan los pesos que sobre cada una de las resistencias mecánicas ejercen las diferentes observables mencionadas en función del envejecimiento del mortero.

A fin de tener resultados lo más generales posible se ha aplicado el análisis factorial a la totalidad de las muestras con independencia de la marga empleada en la dosificación de la mezcla primaria que da lugar al clinker y posterior mortero. Los resultados se recogen en las tablas LXXXVI a XCIV.



g. 90 Peso lineal de las variables influyentes sobre la resistencia a la compresión del mortero en función del tiempo de envejecimiento del mismo en el caso de cementos que emplearon como marga un 100% de la de Lloseta.

TABLA LXXXVI

Análisis factorial. Correlaciones parciales correspondientes al conjunto de las muestras con independencia del tipo de marga empleado.

---

Variables	Rf(1d)	Rc(1d)	Rf(3d)	Rc(3d)	Rf(7d)	Rc(7d)	Rf(28d)	Rc(28d)
R.flex.	1,000		1,000		1,000		1,000	
R.compr.	0,946	1,000	0,849	1,000	0,778	1,000	0,451	1,000
K <sub>2</sub> O	0,728	0,695	0,395	0,326	0,301	0,139	0,039	-0,075
SO <sub>3</sub>	0,605	0,578	0,339	0,333	0,202	0,092	0,079	-0,045
C <sub>3</sub> S	-0,484	-0,394	-0,061	0,041	0,068	0,235	0,118	0,313
C <sub>2</sub> S	0,392	0,293	0,002	-0,119	-0,143	-0,315	-0,132	-0,368
C <sub>3</sub> A	0,625	0,577	0,233	0,171	0,119	-0,016	-0,039	-0,172
C <sub>4</sub> AF	-0,131	-0,087	0,202	0,220	0,297	0,302	0,311	0,234
C <sub>2</sub> F	-0,773	-0,774	-0,706	-0,646	-0,558	-0,354	-0,371	-0,082
C.libre	-0,242	-0,206	-0,246	-0,184	-0,136	-0,051	-0,211	0,059
MS	-0,438	-0,406	-0,205	-0,166	-0,145	-0,120	0,033	0,058
MF	0,671	0,619	0,277	0,204	0,165	0,012	-0,008	-0,165
SC	-0,012	0,112	0,204	0,365	0,315	0,489	0,040	0,411
FC	-0,438	-0,347	-0,087	0,035	0,048	0,177	0,071	0,293
S.Blaine	0,650	0,651	0,305	0,323	0,240	0,179	-0,016	0,061
Micrt.	-0,013	-0,051	-0,159	-0,178	-0,043	0,013	-0,129	-0,085
T.crist.	0,052	0,099	0,172	0,166	0,135	0,090	0,190	0,152

---

TABLA LXXXVII

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a mediciones llevadas a cabo a un día, con independencia de la marga empleada. Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4
Val. propio			8,702	2,773	1,642	1,233
Var. expl.			7,606	2,954	1,062	0,829
%Var. acumu.			44,47	62,12	68,37	73,24
R. flex.	0,920	0,921	0,488	0,785	0,252	-0,053
R. compr.	0,936	0,988	0,399	0,873	0,260	0,019
K <sub>2</sub> O	0,936	0,925	0,811	0,481	-0,176	-0,076
SO <sub>3</sub>	0,730	0,487	0,512	0,340	0,333	-0,011
C <sub>3</sub> S	0,997	1,000	-1,000	0,006	-0,003	0,000
C <sub>2</sub> S	0,987	0,974	0,978	-0,110	-0,007	-0,080
C <sub>3</sub> A	0,999	0,992	0,894	0,335	-0,283	0,028
C <sub>4</sub> AF	0,997	0,738	-0,647	0,059	0,499	-0,260
C <sub>2</sub> F	0,994	0,779	-0,387	-0,665	-0,194	0,387
C. libre	0,970	0,553	-0,135	-0,311	0,450	0,485
MS	0,985	0,459	-0,613	-0,204	0,052	-0,197
MF	0,985	0,989	0,881	0,384	-0,254	-0,034
SC	0,982	0,710	-0,592	0,416	-0,063	0,427
FC	0,983	0,848	-0,911	-0,015	0,104	0,080
S. Blaine	0,787	0,754	0,735	0,421	-0,072	0,178
Microt.	0,826	0,165	0,189	-0,073	-0,257	0,240
T. crist.	0,825	0,166	-0,197	0,130	0,261	-0,206

TABLA LXXXVIII

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a mediciones llevadas a cabo a un día, con independencia de la marga empleada.

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4
Var. expl.	4,902	2,531	2,091	0,964
R. flex.	0,970	0,093	0,124	-0,084
R. compr.	1,035	0,246	0,111	-0,063
K <sub>2</sub> O	0,626	-0,191	-0,292	-0,289
SO <sub>3</sub>	0,647	-0,223	0,119	0,153
C <sub>3</sub> S	-0,389	0,656	0,302	-0,067
C <sub>2</sub> S	0,263	-0,751	-0,252	0,038
C <sub>3</sub> A	0,514	-0,249	-0,480	-0,242
C <sub>4</sub> AF	-0,047	0,151	0,756	0,124
C <sub>2</sub> F	-0,698	0,087	-0,345	0,321
C. libre	0,039	-0,001	0,005	0,754
MS	-0,452	0,137	0,353	-0,067
MF	0,547	-0,252	-0,407	-0,280
SC	0,224	0,920	-0,148	0,071
FC	-0,298	0,593	0,294	0,078
S. Blaine	0,671	-0,075	-0,378	-0,024
Microt.	-0,037	0,047	-0,425	0,013
T. crist.	0,095	0,014	0,409	-0,007

TABLA LXXXIX

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a mediciones llevadas a cabo a 3 días, con independencia de la marga empleada. Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4
Val. propio			8,273	3,222	1,571	1,245
Var. expl.			7,958	1,854	1,494	1,099
%Var. acumu.			46,81	57,71	66,50	72,96
R. flex.	0,785	0,606	0,167	0,531	0,314	0,445
R. compr.	0,844	0,625	0,090	0,631	0,229	0,408
K <sub>2</sub> O	0,930	0,917	0,912	0,224	0,104	0,157
SO <sub>3</sub>	0,731	0,436	0,428	0,072	0,477	0,141
C <sub>3</sub> S	0,997	0,986	-0,942	0,269	-0,174	0,030
C <sub>2</sub> S	0,985	0,997	0,911	-0,382	0,145	0,015
C <sub>3</sub> A	0,999	0,999	0,991	0,124	-0,026	0,027
C <sub>4</sub> AF	0,998	0,994	-0,768	0,159	0,600	0,139
C <sub>2</sub> F	0,995	0,978	-0,130	-0,397	-0,568	-0,560
C. libre	0,963	0,252	-0,330	-0,276	0,159	-0,206
MS	0,990	0,987	-0,670	-0,308	-0,456	0,486
MF	0,978	0,977	0,976	0,145	0,029	0,062
SC	0,983	0,762	-0,510	0,689	-0,119	-0,117
FC	0,986	0,944	-0,900	0,112	-0,277	0,209
S. Blaine	0,789	0,691	0,821	0,122	-0,031	0,028
Microt.	0,854	0,127	0,307	-0,666	-0,151	-0,707
T. crist.	0,852	0,121	-0,228	0,094	0,145	0,092

TABLA XC

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a mediciones llevadas a cabo a 3 días, con independencia de la marga empleada.

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4
Var. expl.	3,004	2,746	2,194	2,121
R. flex.	0,031	0,771	0,074	-0,013
R. compr.	-0,019	0,745	0,242	-0,015
K <sub>2</sub> O	-0,522	0,428	-0,197	-0,279
SO <sub>3</sub>	0,146	0,381	-0,319	-0,306
C <sub>3</sub> S	0,355	-0,063	0,574	0,321
C <sub>2</sub> S	-0,339	0,031	-0,691	-0,203
C <sub>3</sub> A	-0,656	0,237	-0,193	-0,313
C <sub>4</sub> AF	0,965	0,262	0,081	-0,045
C <sub>2</sub> F	-0,124	-0,935	0,288	0,082
C. libre	0,422	-0,316	-0,097	-0,083
MS	0,026	0,031	-0,186	1,066
MF	-0,604	0,294	-0,208	-0,315
SC	0,058	0,096	0,901	-0,155
FC	0,255	0,001	0,361	0,600
S. Blaine	-0,557	0,208	-0,141	-0,256
Microt.	-0,303	-0,097	-0,056	-0,054
T. crist.	0,279	0,125	0,068	0,056



TABLA XCI

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a mediciones llevadas a cabo a 7 días, con independencia de la marga empleada. Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4
Val.propio			7,805	3,033	1,872	1,254
Var.expl.			1,755	4,576	4,518	1,149
%Var.acumu.			10,32	37,24	63,82	70,59
R.flex.	0,724	0,423	0,234	0,510	0,223	0,242
R.compr.	0,710	0,372	0,120	0,333	0,327	0,375
K <sub>2</sub> O	0,940	0,924	-0,154	0,759	-0,553	0,138
SO <sub>3</sub>	0,720	0,433	-0,065	0,636	-0,079	-0,134
C <sub>3</sub> S	0,997	0,985	0,355	-0,484	0,719	0,329
C <sub>2</sub> S	0,985	0,998	-0,276	0,383	-0,775	-0,419
C <sub>3</sub> A	0,999	0,999	-0,293	0,623	-0,715	0,122
C <sub>4</sub> AF	0,997	0,995	0,297	0,141	0,917	-0,214
C <sub>2</sub> F	0,996	1,000	-0,318	-0,948	0,000	0,000
C.libre	0,971	0,287	-0,151	-0,272	0,292	-0,325
MS	0,990	1,000	0,770	-0,638	0,000	0,000
MF	0,980	0,979	-0,251	0,681	-0,663	0,114
SC	0,985	0,747	0,001	-0,001	0,623	0,599
FC	0,985	0,934	0,541	-0,552	0,527	0,241
S.Blaine	0,766	0,692	-0,248	0,530	-0,575	0,137
Microt.	0,843	0,119	-0,296	0,080	-0,120	0,103
T.crist.	0,838	0,107	0,246	0,000	0,209	-0,058

TABLA XCII

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a mediciones de resistencias llevadas a cabo a 7 días, con independencia de la marga empleada.

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4
Var. expl.	2,959	2,404	2,289	2,286
R. flex.	0,321	-0,497	0,178	0,047
R. compr.	0,516	-0,288	0,131	-0,067
K <sub>2</sub> O	-0,196	-0,394	0,553	-0,290
SO <sub>3</sub>	-0,169	-0,561	0,020	-0,205
C <sub>3</sub> S	0,692	0,215	-0,211	0,340
C <sub>2</sub> S	-0,814	-0,168	0,203	-0,205
C <sub>3</sub> A	-0,290	-0,188	0,588	-0,374
C <sub>4</sub> AF	0,318	-0,576	-0,699	0,156
C <sub>2</sub> F	0,043	0,928	-0,256	-0,096
C. libre	-0,102	0,075	-0,555	-0,097
MS	-0,073	0,316	0,217	1,003
MF	-0,272	-0,272	0,568	-0,351
SC	0,911	0,034	-0,013	-0,193
FC	0,481	0,242	-0,070	0,606
S. Blaine	-0,197	-0,159	0,501	-0,328
Microt.	0,052	0,098	0,059	-0,336
T. crist.	0,046	-0,163	-0,100	0,239

TABLA XCIII

Análisis factorial. Factores no-rotados. Coeficientes correspondientes a mediciones de las resistencias llevadas a cabo a 28 días, con independencia de la marga empleada. Se incluyen además, para cada factor, su valor propio y varianza explicada. También se indica la proporción de varianza total acumulada. Asimismo se muestra el coeficiente de correlación múltiple al cuadrado (CMC) de cada variable con el resto, así como la comunalidad de cada variable.

Variables	CMC	Comu.	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Val. propio			7,837	2,498	1,737	1,397	1,077
Var. expl.			1,418	3,597	2,089	4,895	1,740
%Var. acumu.			8,340	29,49	41,78	70,57	80,81
R. flex.	0,434	0,225	-0,214	0,288	-0,028	0,295	-0,094
R. compr.	0,493	0,200	0,154	0,158	0,270	0,273	-0,063
K <sub>2</sub> O	0,940	0,916	-0,029	0,733	-0,230	-0,570	-0,022
SO <sub>3</sub>	0,711	0,520	0,235	0,502	-0,423	-0,102	-0,155
C <sub>3</sub> S	0,996	1,000	-0,010	-0,306	0,592	0,746	0,000
C <sub>2</sub> S	0,985	0,981	-0,106	0,188	-0,604	-0,755	-0,007
C <sub>3</sub> A	0,999	1,000	-0,024	0,610	-0,207	-0,765	0,000
C <sub>4</sub> AF	0,997	1,000	-0,008	0,046	-0,154	0,987	0,000
C <sub>2</sub> F	0,994	0,895	0,154	-0,866	0,316	-0,136	0,060
C. libre	0,970	0,935	0,842	-0,387	-0,206	0,182	0,035
MS	0,986	0,682	-0,311	-0,609	0,376	0,253	-0,100
MF	0,979	0,977	-0,019	0,657	-0,230	-0,702	-0,007
SC	0,983	1,000	0,652	0,225	0,575	0,441	0,000
FC	0,983	0,878	0,133	-0,417	0,554	0,614	-0,042
S. Blaine	0,766	0,697	0,070	0,513	-0,166	-0,634	-0,005
Microt.	0,842	0,939	0,063	0,081	0,001	-0,227	0,936
T. crist.	0,842	0,887	0,000	0,000	0,000	0,281	-0,899

TABLA XCIV

Análisis factorial. Factores rotados. Coeficientes correspondientes a mediciones de las resistencias llevadas a cabo a 28 días, con independencia de la marga empleada.

Variables	FAC 1	FAC 2	FAC 3	FAC 4	FAC 5
Var. expl.	6,197	2,037	1,908	1,510	1,278
R. flex.	0,028	0,049	-0,081	0,376	-0,213
R. compr.	0,013	0,427	-0,048	0,049	-0,034
K <sub>2</sub> O	0,917	0,028	0,036	-0,030	-0,201
SO <sub>3</sub>	0,656	-0,011	-0,141	0,241	0,238
C <sub>3</sub> S	-0,734	0,478	-0,012	0,115	-0,131
C <sub>2</sub> S	0,601	-0,606	-0,004	-0,126	0,079
C <sub>3</sub> A	0,907	-0,043	0,053	-0,229	-0,194
C <sub>4</sub> AF	-0,429	0,072	-0,023	0,843	0,178
C <sub>2</sub> F	-0,648	-0,080	0,012	-0,619	0,214
C. libre	-0,054	0,136	-0,012	-0,112	0,926
MS	-0,792	-0,091	-0,136	-0,180	-0,226
MF	0,922	-0,027	0,047	-0,155	-0,185
SC	0,107	1,006	0,030	-0,098	0,207
FC	-0,690	0,448	-0,064	-0,052	0,023
S. Blaine	0,792	0,021	0,039	-0,216	-0,094
Microt.	0,035	0,040	0,982	0,066	0,009
T. crist.	0,022	0,042	-0,939	-0,006	0,022

Cuando se incluyen la totalidad de las muestras con independencia de la marga empleada en la elaboración del clinker, la correlación parcial entre las resistencias a la flexotracción y a la compresión es alta, aunque disminuye sensiblemente a medida que aumenta la edad del mortero normalizado. Podrían destacarse también las altas correlaciones parciales entre las resistencias y el contenido de  $C_2F$ , si bien dichas correlaciones disminuyen al aumentar el tiempo, siendo dicha disminución especialmente drástica en el caso de la resistencia a la flexotracción, que a los 28 días tiene poco o nada que ver con el contenido de  $C_2F$ .

De acuerdo con los resultados de las tablas LXXXVII y LXXXVIII son evidentes las influencias que sobre las resistencias a un día poseen las siguientes variables:  $K_2O$  (+),  $SO_3$  (+),  $C_3A$  (+),  $C_2F$  (-), MF (+) y S. Blaine (+). No está clara la relación entre estas resistencias a un día y los contenidos de  $C_3S$  y  $C_2S$ , ni tampoco el estándar de cal, etc.

A tres días, las resistencias, tablas LXXXIX y XC parecen estar correlacionadas fundamentalmente con el contenido de  $C_2F$  (-),  $K_2O$  (+),  $SO_3$  (+) y algo menos con los contenidos de  $C_3S$  (+) y  $C_2S$  (-).

Las resistencias a 7 días están correlacionadas, tablas XCI y XCII, fundamentalmente con el contenido de  $C_3S$  (+),  $C_2S$  (-) y SC (+). También son significativas las influencias de  $C_2F$  (-),  $K_2O$  (+),  $SO_3$  (+),  $C_4AF$  (+) y SC (+).

Por último en las tablas XCIII y XCIV se observa la existencia de una correlación baja (ya que las comunalidades de las resistencias son muy bajas) con las variables siguientes:

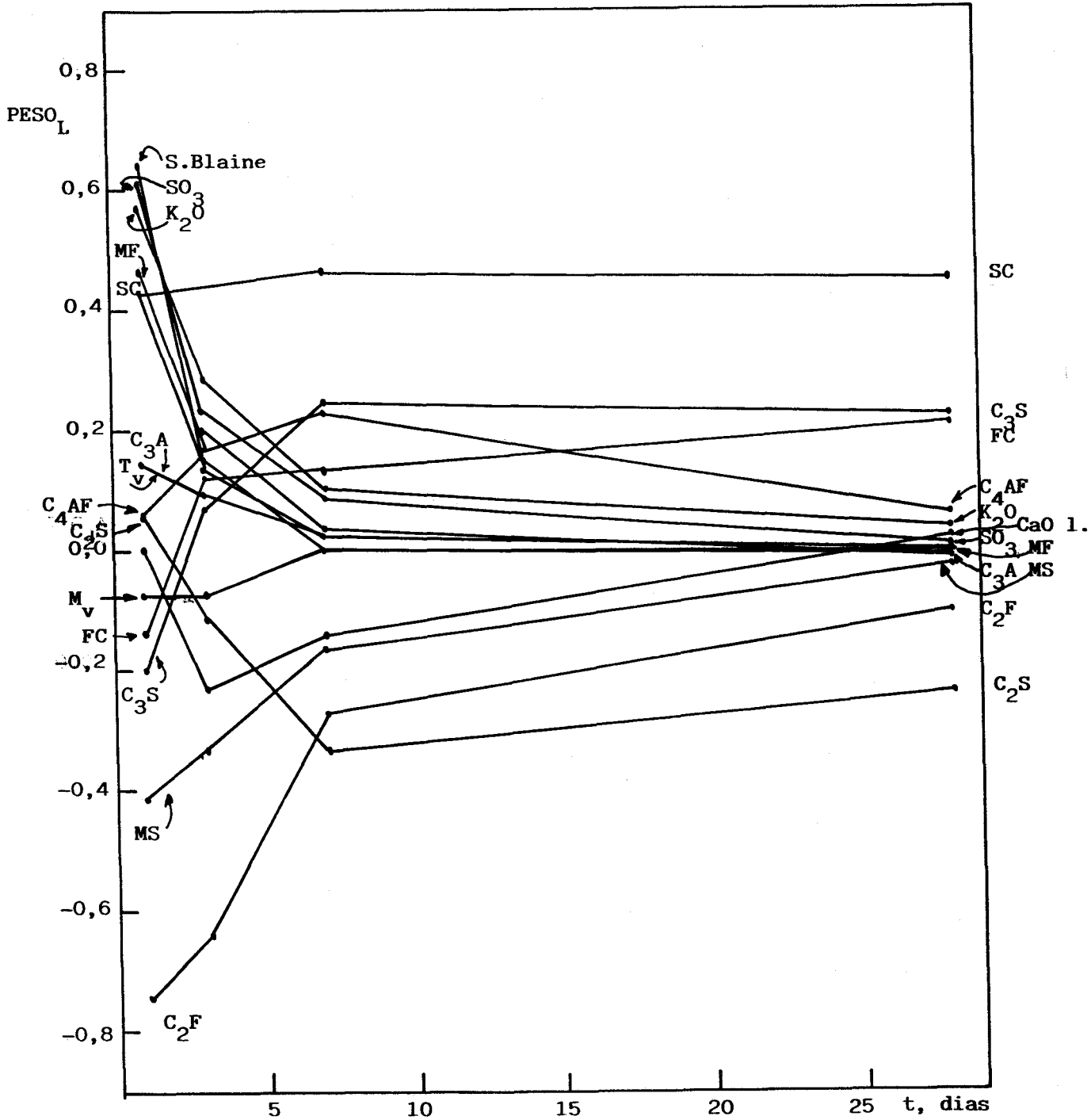
$C_3S$  (+),  $C_2S$  (-),  $C_3A$  (-),  $C_4AF$  (+), MF (-), SC (+), FC (+). Como se ha indicado, el que las comunalidades de las resistencias sean tan bajas significa que los valores de estas magnitudes apenas guardan relación, a los 28 días de edad, con las variables mencionadas. Matemáticamente podría decirse que las resistencias "se explican a sí mismas" sin que se correlacionen con el resto de las observables.

Desde el punto de vista químico los resultados anteriores parecen sugerir que, desafortunadamente, no pueden obtenerse correlaciones aceptables entre las resistencias a 28 e incluso a 7 días de materiales significativamente diferentes y el resto de las variables objeto de estudio en la presente tesis.

En las figura 91 se representa el peso sobre las resistencias de cada una de las variables mencionadas como de alguna significación, en función de la edad del mortero.

El análisis factorial canónico permite, por tanto, establecer una correlación general entre resistencias y variables influyentes que puede resumirse en la siguiente ecuación:

$$\begin{aligned}
 R = & C_3S \times P_1 + C_2S \times P_2 + C_3A \times P_3 + C_4AF \times P_4 + \\
 & + SO_3 \times P_5 + CaO \text{ libre} \times P_6 + S. \text{ espec.} \times P_7 + \\
 & + K_2O \times P_8 + \text{Microt.} \times P_9 + \text{Tam. crist.} \times P_{10} + K \quad (53)
 \end{aligned}$$



g. 91 Peso lineal de las variables influyentes sobre la resistencia a la compresión del mortero en función del tiempo de envejecimiento del mismo con independencia del tipo de marga empleado.

donde  $P_1$ ,  $P_2$ , etc son los pesos de las distintas variables y  $K$  es una constante.

Tanto los pesos como  $K$  poseen valores diferentes tanto para distintas edades del mortero como para diferentes tipos de clinker. Sin embargo, el peso de una variable determinada no depende de la inclusión o eliminación de otra del conjunto de variables influyentes. En tal caso sólo cambiaría el valor de  $K$ . Ello supone una importante ventaja del análisis factorial canónico sobre el más empleado y tradicional análisis de regresión lineal múltiple que es muy sensible a la inclusión de nuevas variables independientes o eliminación de algunas ya existentes (por estar quizá relacionadas linealmente con otras), lo que da lugar a una variación generalizada de los coeficientes de regresión que definen el hiperplano de regresión.

El análisis factorial muestra, en general, una constancia de las influencias de las distintas variables influyentes sobre las resistencias, como pone de manifiesto el paralelismo de los pesos en las representaciones gráficas; es decir, que se mantienen prácticamente constantes las relaciones de influencias entre las diversas observables influyentes. Por otra parte, la comunalidad de las resistencias no es muy alta en algunos casos y, además, hay que considerar que el análisis factorial llevado a cabo es el más simple y supone una relación lineal entre variables. De hecho, la aparición de algunos coeficientes algo mayores de la unidad (hecho conocido como caso de Heywood), podrían indicar (iii) relaciones no lineales entre observables.



## 7. CONCLUSIONES

## 7. CONCLUSIONES

1. A medida que aumenta el porcentaje de marga de Morón de la Frontera lo hacen el contenido de alúmina, magnesia y álcalis del clinker, con el consiguiente aumento del contenido de aluminato tricálcico,  $C_3A$ , y, desaparición paulatina del ferrito dicálcico,  $C_2F$ .
2. El clinker de Lloseta presenta un contenido sensiblemente mayor de alúmina y álcalis que el resto de los que han sido objeto de estudio en la presente tesis y ello da lugar a un mayor contenido de aluminato tricálcico y a la ausencia total de ferrito dicálcico en aquel.
3. Como consecuencia del mayor contenido de alúmina el módulo de silicatos,  $MS$ , es menor en los clinker de Lloseta que en los de la serie Alcalá de Guadaíra-Morón de la Frontera.
4. Existe una correlación inversa entre el tamaño cristalino y el contenido de microtensiones de la alita,  $C_3S$ , con independencia del tipo de marga empleado y del plano cristalográfico considerado en la determinación de ambos parámetros.
5. A un día, la resistencia mecánica de los morteros aumenta prácticamente al doble cuando la proporción de marga de Morón lo hace de 0 a un 50% de la total empleada. Cuando se emplea marga de Lloseta los valores son aún más altos.

6. A 28 días las resistencias mecánicas de los morteros alcanzan prácticamente los mismos valores independientemente del tipo de marga empleado.
7. Los coeficientes de correlación lineal múltiple, correspondientes a los distintos hiperplanos de regresión, son muy altos lo que indica que, en efecto, se pueden correlacionar las resistencias mecánicas de los morteros con las variables propuestas. No obstante, cuando se mezclan datos correspondientes a clinkerés en cuya elaboración se emplearon diferentes tipos de marga dichos coeficientes disminuyen, especialmente a 28 días, lo que significa que las correlaciones deben de aplicarse a clinkerés análogos, esto es, obtenidos en un mismo horno, en condiciones análogas de temperatura etc, y que empleen las mismas materias primas.
8. En la mayoría de los casos existe una relativamente buena correlación entre las resistencias a la compresión y a la flexotracción.
9. De acuerdo con el análisis factorial, en clinkerés de la serie Alcalá de Guadaira-Morón de la Frontera se observa una influencia positiva del silicato tricálcico,  $C_3S$ , sobre las resistencias mecánicas, influencia que va disminuyendo con la edad del mortero. Como cabe esperar la incidencia del estándar de cal,  $SC$ , es paralela a la del  $C_3S$ . También influye positivamente, aunque en menor cuantía y sólo a las primeras edades, el aluminato

tricálcico; el signo de esta influencia cambia a edades avanzadas.

El silicato bicálcico,  $C_2S$ , influye negativamente, observando un comportamiento inverso al del silicato tricálcico,  $C_3S$ . Influyen negativamente, además, el  $SO_3$  y la cal libre.

El resto de las variables seleccionadas tienen una menor influencia sobre las resistencias mecánicas, especialmente a altas edades de los morteros.

10. El análisis factorial correspondiente a clinker de Lloseta pone de manifiesto una influencia positiva del  $SO_3$ , superficie específica, estándar de cal, silicato tricálcico, factor de cocibilidad y tamaño cristalino de la alita sobre las resistencias mecánicas de los morteros, mientras que manifiestan una influencia negativa sobre las mismas el silicato bicálcico, cal libre, módulo de silicatos,  $K_2O$  y contenido de microtensiones, así como el aluminato tricálcico (este último a edades avanzadas del mortero).
11. La incidencia del tamaño cristalino y contenido de microtensiones de la alita en la resistencia mecánica del mortero normalizado es mucho mayor a edades tempranas. Asimismo es mayor en el clinker de Lloseta que en los de la serie Alcalá de Guadaira-Morón de la Frontera lo que seguramente se debe a la mayor dispersión en la composición de la mezcla de estas últimas margas.

12. El procedimiento de determinación del tamaño cristalino y contenido de microtensiones de la alita a partir de picos de difracción de rayos-X aventaja al indirecto de Ono (62) de medida de la birrefringencia ya que las variaciones de ésta son una consecuencia de las que se producen en los parámetros indicados, siendo por tanto el de Ono un método indirecto que emplea, además, sólo una pequeñísima fracción del granulométrico mientras que la difracción de rayos-X se lleva a cabo sobre muestras mucho más representativas del total del clinker, y sin ningún tipo de tratamiento previo.
  
13. De acuerdo con los resultados del análisis factorial, en la predicción de las resistencias mecánicas de los morteros deben de ser considerados tanto la composición mineralógica, finura etc como el contenido de microtensiones y tamaño cristalino de las fases mayoritarias del clinker, pudiendo formularse ecuaciones del tipo de la 53.
  
14. Es evidente, de acuerdo con nuestros resultados experimentales, que la determinación difractométrica de los contenidos de microtensiones y tamaños cristalinos de la alita y de otras fases minoritarias presentes en el clinker (esto último podría ser objeto de un próximo estudio), es de un gran interés químico, ya que ambos parámetros están estrechamente relacionados con la hidratación de las fases, y deben ser considerados en cualquier tipo de tratamiento estadístico que pretenda

establecer una previsión de las resistencias mecánicas de los morteros y, por tanto, de la calidad del cemento.

BIBLIOGRAFIA

- 1 HAEGERMANN G., Zement Kalk Gips, pág 1, (1970)
- 2 DAVIS A.C., A Hundred Years of Portland Cement, 1824-1924, London (1924)
- 3 LESLEY R.W., History of the Portland Cement Industry in the U.S.A. (1924)
- 4 KEIL F., Cemento: Fabricación, propiedades y aplicaciones; Ed. Técnicos Asociados S.A., Barcelona (1973)
- 5 LEA F.M., The Chemistry of Cement and Concrete; Ed. Arnold, Londres (1972)
- 6 TAYLOR H.F.W., La química de los cementos, Vol 1, Ed. Urmo, Bilbao (1967)
- 7 SYLLA H.-M.: Ofenatmosphäre beim Brennen von Zementklinker, Zement-Kalk-Gips 31, H. 6, S. 291/293, 11. Qu. (1978)
- 8 SYLLA H.-M.: Einfluß der Klinkerkühlung auf Erstarren und Festigkeit von Zement, Zement-Kalk-Gips 28, H. 9, S. 357/362 (1975)
- 9 A.S.T.M., Standard specification for blended hydraulic cements, ASTM-595-86, Race Street, Philadelphia P.A. 19103-1187 USA. (1916)
- 10 REZOLA J., Cemento Portland artificial blanco y sus aplicaciones, Inst. Ed. Torroja de la Cons. y del Cemento, Costillares, Madrid (1975)
- 11 MEHTA P., POLIVKA, IV Congreso Internacional de la Química del Cemento, Moscú (1974)
- 12 ACI-223-83: Standard Practice for the use of shrinkage-compensating concrete, American Concrete Institute, Box 19150-Redford Station Detroit-Michigan-48219 (1979)
- 13 API Specification for Oil-Well Cements, American Petroleum Institute, 300 Carrigan Tower Building, Dallas, Texas 75201 (1979)
- 14 TAHABER J., High-Alumina Cements, VI International Congress of the Chemistry of Cement, Moscow (1974)
- 15 WADDELL J.J., Concrete Construction Hand Book Ed. Mc Grow-Hill Book Company p.26-29 (1968)
- 16 POWERS T.C., COPELAND L.E., HAYES J.C. and MANN H.M., Permeability of Portland Cement Paste, J. A.C.I., November, pág. 285 (1954)

- 17 WADDELL J.J., Concrete Construction Hand Book Ed.  
Mc Grow-Hill Book Company, p.1-13 (1968)
- 18 LE CHATELIER H., Trans. Farad. Soc., 14 (1) 8 (1919)
- 19 GUINIER A. and REGOURD M., "Structure of Portland Cement  
Minerals" Principal Paper I, 1, V-ISCC Tokyo (1968), Vol I,  
1-41 (1969)
- 20 RANKING G.A. and WRIGHT F.E., Amer. J. Sci., 39, 1 (1915)
- 21 Ver (20)
- 22 BIGARE M., GUINIER A., MAZIERES Ch., REGOURD M., YANNAQUIS  
N., EYSEL W., HANN Th. and WOERMANN E., "Polymorphism of  
Tricalcium Silicate and its Solid Solutions", J. Amer.  
Ceram. Soc. Vol. 50, n° 11, 609-19 (1967)
- 23 JEFFERY J.W., The crystal structure of tricalcium silicate,  
Acta Cryst. 5, 26-35 (1952)
- 24 Ver (22)
- 25 NIESEL K. and THORMANN P., "The stability fields of  
dicalcium silicate modifications". Tonind. Ztg 91, 2  
362-369 (1967)
- 26 YAMAGUCHI G., ONO Y., KAWAMURA S. and SODA Y.,  
"Differential thermal analysis and high temperature powder  
X-Ray diffraction of 2 CaO-SiO<sub>2</sub>", J. Ceram. Assoc. Japan,  
71, 1, 9-12 (1963)
- 27 REGOURD M., BIGARE M., FOREST J. and GUINIER A., "Synthesis  
and crystallographic investigation of some belites".  
Supplementary Paper I, 10, V-ISCC Tokyo (1968), Vol I,  
44-48 (1969)
- 28 SMITH D.K., MAJUMDAR A.J. and ORDWAY F., "The crystal  
structure of  $\gamma$ -dicalcium silicate ". Acta Cryst. 18,  
787-795 (1965)
- 29 MIDGLEY C.M., "Crystal structure of  $\beta$  dicalcium silicate",  
Acta Cryst. 5, Part 3, 307-12 (1952)



- 30 CRUISHANK D.N.J., "Refinements of structures containing bonds between Si, P, S or Cl and O or N X B  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ . Acta Cryst. 17, 685-686 (1964)
- 31 SUZUKI K. and YAMAGUCHI G., "A structural study on  $\alpha'$   $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ". Supplementary Paper I-92, V-ISCC Tokyo (1968), Vol I, 67-72 (1969)
- 32 SAALFELD H. "Contribution to the crystal chemistry of dicalcium silicate ". Ber. Deutsch. Keram. Ges. 44, 279-283 (1967)
- 33 HAHN Th., EYSEL W., BRENNER P. and WOERMANN E., "Oral discussion of Principal Paper I. 1 Structure of Portland Cement Minerals", V-ISCC Tokyo (1968), 1, 37-38 (1969)
- 34 EYSEL W. and HANN Th., "Polymorphism and solid solution of  $\text{Ca}_2\text{GeO}_4$  and  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ ". Zeit. Kristall. 131, 322-341 (1970)
- 35 BREDIG M.A., "Polymorphism of calcium orthosilicate", J. Am. Ceram. Soc., 33, 6, 188-192 (1950)
- 36 DOUGLAS A.M.B., "X-ray investigation of bredigite". Mineral. Mag., 29, 875-884 (1952)
- 37 TOROPOV N.A. and SHIRVINSKAYA A.K., "Solid solutions in the system  $\text{Ca}_2\text{SiO}_4$ - $\text{Ca}_2\text{GeO}_4$ ". Dokl. Akad. Nauk. SSSR, chemistry section 153, 1081-1084 (1963)
- 38 FOREST J., "Knowledge of the calcium orthosilicate". Bull. Soc. FranMiner. Crist. 94, n°2, 118-137 (1971)
- 39 COUGHLIN J.P. and O'BRIEN C.J., "High temperature heat contents of calcium orthosilicate "., J. Phys. Chem. 61, 767-769 (1957).
- 40 CHROMY S. "High temperature microscopic investigation of tricalcium silicate and dicalcium silicates Phases in Portland Cement Clinker"., J. Amer. Ceram. Soc. 50, n°12, 677-681 (1967)
- 41 YANNAQUIS N. and GUINIER A. "Polymorphic  $\beta$ -- $\gamma$  transition of calcium orthosilicate ", Bull. Soc. Fran Miner. Crist. 82, 126-136 (1959).

- 42 CHROMY S. "The  $\beta \rightarrow \gamma$  transformation of dicalcium silicate".  
Zement Kalp Gips, 23, n°8, 382-389 (1970)
- 43 LEHMANN H., NIESEL K. and THORMAN P., "The stability fields  
of the polymorphic forms of dicalcium silicate", Tonind.  
Ztg 93, n°6, 197-209 (1969)
- 44 NIESEL K., "The stabilization of the modifications of  
calcium silicate and its application to the technological  
process". Doctor Thesis. Techn. Univ. of Clausthal Germany  
(1968)
- 45 NIESEL M., "The importance of the  $\alpha'_L \rightarrow \alpha'_H$  transition  
in the polymorphism of dicalcium silicate". Silicates  
Industriels 37, n°5, 136-138 (1972)
- 46 YANNAQUIS N. and GUINIER A., Discussion of R.W. NURSE'S  
Paper: "Phase equilibria and constitution of portland  
cement clinker". IV-ISCC Washinton (1960), Vol I, 21-23  
(1962)
- 47 REGOURD M. and GUINIER A., "The crystal chemistry of the  
constituents of portland cement clinker", The VI Internat  
ional congress on the chemistry of cement. Moscow,  
september (1974).
- 48 BERTAUT E. F., BLUM P. and SAGNIERES A., "Structure of  
dicalcium ferrite and brownmillerite", Acta Cryst. 12,  
149-159 (1959)
- 49 LEJBINA L.P., "Quantitative analysis of tricalcium  
aluminate and tetracalcium aluminoferrite in the same  
sample", Ognenpory SSSR, 34, n°3, 52-56 (1969)
- 50 DEWAR J.D., "Informe de la B.S.I., CAB-Hormigón" (1985)
- 51 CALLEJA C., Manuales y normas del Inst. Técn. de la  
Constr. y del Cemento, Ed. Vriguen Dochao J.A., (1960)
- 52 KNOFEL D., "Kann aus dem aktuellen Phasengehalt des  
Portlandzementes seine Festigkeitsentwicklung ermittelt  
werden?". Fortschr. Miner. 56, Beih. 1, 62-63 (1978)
- 53 GOURDIN P., DEMOULIAN E., HAWHORN F. et VERNET C.,  
"Polymorphisme de l'alite et du C<sub>3</sub>A. Statiques", 7<sup>o</sup>  
Congreso Internacional de la Quimica del Cemento, I.223,  
Vol II, Paris (1980)

- 54 HARADA T., OHTA M. et TAKAGI S., "Effect of polymorphism of tricalcium silicate on structure and strength characteristics of hardened paste", C.A.J. Review, Tokyo, 31-32 (1977)
- 55 TOMITA K., OGAWA T., ABE S. and SAGIYA I., "The effect of cooling rate of cement clinker on the strength of cement", CAJ Review of the 23<sup>rd</sup> General Meeting Tokyo, 81-86 (1969)
- 56 POLLITT H.W.W. and BROWN A.W., "The distribution of Alkalies in Portland cement clinker", V-ISCC Tokyo (1968).  
Supplementary Paper 1-126, Vol I, 322-333 (1969)
- 57 ONO Y., HIDAKA T. and SHIRASAKA M., "On the influence of Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O and MgO on the development of strength of Portland Cement Mortar", CAJ Review of the 23<sup>rd</sup> General Meeting Tokyo, 61-66 (1969)
- 58 BUTT Ju.M., TIMASHEV V.V. and MALOZOHN L.I., "The crystallization of compounds in the presence of Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> or SO<sub>3</sub> and the properties of the resultant cement". V-ISCC Tokyo (1968). Supplementary Paper 1-136, Vol I, 340-348 (1969)
- 59 STEIN , Matprofungant, Gross, Lichterfelde, 7 (1908)
- 60 INSLEY H. und FRECHETTE D.V., Microscopy of Ceramics and Cement, Academic Press, New York, (1955)
- 61 GILLE F. , Schriftenreihe Zementindustrie, N. Jhb. Min. Mon. Hefte 10 pág. 277-287 (1952)
- 62 ONO Y., 7<sup>o</sup> Congreso Internacional de la Quimica del Cemento, Paris I-206-Vol II (1980)
- 63 BRUNAUER S., EMMET P.H. y TELLER E., J.Amer.Chem. Soc., 60 309 (1939)
- 64 HOUSEKNECHT T. M., "Técnicas de fusión para la preparación de muestras en el análisis por fluorescencia de rayos-X". Pit & Quarry. Dic. (1982)
- 65 CRIADO J.M., GONZALEZ F., GONZALEZ M. y REAL C., "Influence of the grinding of PbCO<sub>3</sub> on the texture and structure of the final products of its thermal decomposition", J. Mat. Science 17, 2056-2060 (1982)

- 66 CARLSON R.W., Proc. A.S.T.M., 34 (1934)322
- 67 LERCH W. and FORD C.L., J. Amer. Conc. Inst., 44, 743,  
(1948)
- 68 STEIN, H.N., J. Appl. Chem. 11 474 (1961)
- 69 MONFORE G.E. and OST B., J. Portland Cem. Ass. Res. Dev.  
Lab., 8 13 (1966)
- 70 FORRESTER J.A., Cem. Tech., 1 95 (1970)
- 71 GAUTIER E., Rev. Mater. Constr., N° 678, 17 (1973)
- 72 ADAMS L.D., Cem. Conc. Res. 6(2) 293 (1976)
- 73 PERRY S.J., DOUBLE D.D. and HELLAWELL A., Proc.Roy.Soc.  
(Lond.), A359 435 (1978)
- 74 GRUDEM A., Proc. 4th Int. Sym. Chem. Cem. Washington,  
D.C. (1960) (N.B.S. Monograph N° 43 615 (1962)
- 75 DAIMON M., UEDA S. and KONDO R., Cem. Conc. Res., 1(4),  
391 (1971)
- 76 WILLIAMSON R.B., Prog. Mater. Sci., 15 3 (1972)
- 77 DIAMOND S., Cem. Conc. Res. 2(5) 617 (1972)
- 78 DIAMOND S., Proc. Conf. "Hydraulic cement pastes: their  
structure and properties", p.2, Cem. Conc. Ass., Sheff. (1976)
- 79 LAWRENCE F.V. and YOUNG, J.F., Cem. Conc. Res., 3(2) 149  
(1973)
- 80 BRUNAUER S. and GREENBERG S.A., Proc. 4th Int. Sym. Chem.  
Cem., Washington D.C. (1960) (N.B.S. Monograph N° 43  
135 (1962))
- 81 TAYLOR H.F.W., "The Chemistry of Cements", R.Inst. Chem.  
Lect. Series, (2), 1 (1966), and Proc. 5th Int. Sym. Chem.  
Cem., Tokyo II, 1 (1968)
- 82 BARKER A.P., "Strain in Portlandite crystals", Ph.D., Univer.  
of Sheffield, (1981)
- 83 SLEGERS P.A. and ROUXHET F.G., Cem. Conc. Res., 2(1), 31  
(1977)
- 84 DARWIN C.G., Phil. Mag. 27, 315 (1914)
- 85 DARWIN C.G., Phil. Mag. 43, 800 (1922)

- 86 EWALL P.P., Proc. Phys. Soc. (Lond.) 52 67 (1940)
- 87 CRIADO J.M., Comunicación personal.
- 88 BRETT N.H., Comunicación personal.
- 89 JONES F.W., Proc. Roy. Soc. (Lond.), A166 16 (1938)
- 90 HENRY N.F.H., LIPSON H. and Wooster W.A., The interpretation of X-ray diffraction photographs, Memillan, London (1951)
- 91 STOKES A.R., Proc. Phys. Soc. (Lond.), B61 382 (1948)
- 92 SCHERRER P., Gottinger Nachrichten 2 98 (1918)
- 93 RACHINGER W.A., J.Sci. Instr. 25 254 (1948)
- 94 KEATING D.T., Rev. Sci. Instr. 30 725 (1959)
- 95 GUILLIAT J.F. and BRETT N.H., J. Brit. Cer. Soc., 6 56 (1969)
- 96 SPENCER R.C., Phys. Rev., 551 239 (1939)
- 97 WARREN B.E. and BISCOE J., J. Amer. Ceram. Soc. 21 49 (1938)
- 98 ANANTHARAMAN J.R. and CRISTIAN J.W., Acta Cryst., 2 479 (1956)
- 99 VON LAUE M., Zeit Krist, 64 115 (1926)
- 100 FERGUSON I.F., A.E.R.E.R. 3495 (1961)
- 101 WHITTAKER E.J.W., Acta Cryst., 1 165 (1948)
- 102 KLUG H.P. and ALEXANDER L.E., X-ray diffraction procedures, 2ª edición, 618 (1973)
- 103 WARREN B.E., "Progress in Metal Physics", 8 147 (1959)
- 104 RHODES J.P., "The study of strain in C<sub>3</sub>A", Dep. of Ceramic, Glasses and polymers, University of Sheffield, England.
- 105 ERGUN S., J. Appl. Crystallogr., 1 19 (1968)
- 106 HALL W.J., J. Inst. Metals., 75 1127 (1949)
- 107 WILSON A.J.C., Proc. Phys. Soc., 80 286 (1962)
- 108 EDWARDS H.J. and LANGFORD J.I., J.APPL. CRYST. 4 43 (1971)
- 109 CRIADO J.M., GONZALEZ M., y REAL C., 'Correlation between crystallite size and microstrains in materials subjected to thermal and/or mechanical treatments", J. Mater. Sci. Letters 5 467 (1986)
- 110 MUÑOZ J., D. Estadística, F. de Mat., Univ. de Sevilla, Comunicación personal.
- 111 CUADRAS C.M., "Métodos de Análisis Multivariante", Ed. EUNIBAR , Barcelona (1981)

9. APENDICES

5	10	REM PREPARACION DE UN CRUDO DE CEMENTO	2
6	20	REM PARTIENDO DE CUATRO MATERIAS PRIMAS	
7	30	REM CONINCORPORACION DE LAS CENIZAS DEL CARBON	3
8	40	DIM P(5),S(5),A(5),F(5),C(5),G(5),N(5),K(5),R(5)	
9	41	FOR I = 1 TO 5	4
10	42	READ P(I)	
11	43	NEXT I	
12	44	FOR I = 1 TO 5	5
13	45	READ S(I)	
14	46	NEXT I	6
15	47	FOR I = 1 TO 5	
16	48	READ A(I)	7
17	49	NEXT I	
18	50	FOR I = 1 TO 5	8
19	51	READ F(I)	
20	52	NEXT I	
21	53	FOR I = 1 TO 5	9
22	54	READ C(I)	
23	55	NEXT I	10
24	56	FOR I = 1 TO 5	
25	57	READ G(I)	11
26	58	NEXT I	
27	59	FOR I = 1 TO 5	12
28	60	READ N(I)	
29	61	NEXT I	13
30	62	FOR I = 1 TO 5	
31	63	READ K(I)	14
32	64	NEXT I	
33	65	FOR I = 1 TO 5	15
34	66	READ R(I)	
35	67	NEXT I	16
36	70	PRINT "STANDAR DE CAL FIJADOS?"	
37	80	INPUT M1	17
38	90	PRINT "MODULO DE SILICATOS, MS?"	
39	100	INPUT M2	18
40	110	PRINT "MODULO DE FUNDENTES, MF-?"	
41	120	INPUT M3	19
42	125	PRINT "SE TIENE EN CUENTA LA INCORPORACION DE CENIZAS?"	
43	126	INPUT A#	20
44	127	IF A#="N" THEN 170	
45	131	PRINT "SE HA DE CALCULAR?"	21
46	132	INPUT B#	
47	133	IF B#="Y" THEN 180	22
48	134	PRINT "TANTO POR UNO DE CENIZA EN EL CRUDO 'T'?"	
49	135	INPUT T	23
50	136	GO TO 260	
51	140	INPUT A#	24
52	150	IF A#<>"Y" THEN 170	
53	160	GO TO 180	25
54	170	LET T = 0	
55	175	GO TO 260	26
56	180	PRINT "CONSUMO ESPECIFICO, KCAL/KG DE CLINKER?"	
57	190	INPUT G7	27
58	200	PRINT "PORCENTAJE DE CENIZAS EN EL CARBON?"	
59	210	INPUT J	28
60	220	PRINT "POTENCIA CALORIFICA DEL CARBON?"	
61	230	INPUT H	29
62	240	REM CALCULO DEL TANTO POR UNO DE CENIZAS EN EL CRUDO	
63	250	LET T = G7*J*.00645/H	
64	260	FOR I = 1 TO 5	
65	300	LET B(I) = ((7.8*S(I)+1.18*A(I)+.65*F(I))*M1/100)-C(I)	
66	310	LET E(I) = ((A(I)+F(I))*M2)-S(I)	
67	320	LET D(I) = (F(I)*M3)-A(I)	
68	340	NEXT I	
69	500	REM CALCULO DEL DETERMINANTE	
70	510	LET A6 = E(2)*D(3)+E(3)*D(4)+D(2)*E(4)	

```

515 LET A7 = B(2)*D(3)+B(3)*D(4)+D(2)*B(4)
517 LET A7 = A7-B(4)*D(3)-D(4)*B(2)-B(3)*D(2)
530 LET A8 = B(2)*E(3)+B(3)*E(4)+E(2)*B(4)
535 LET A8 = A8-B(4)*E(3)-E(4)*B(2)-B(3)*E(2)
540 LET A9 = B(2)*E(3)*D(4)+B(3)*E(4)*D(2)+E(2)*D(3)*B(4)
545 LET A9 = A9-B(4)*E(3)*D(2)-B(3)*E(2)*D(4)-E(4)*D(3)*B(2)
550 LET O1 = A6*B(1)+A7*E(1)+A8*D(1)+A9
560 LET O2 = -T*B(5)+A6+T*E(5)+A7-T*D(5)+A8+(T-1)*A9
570 LET X = O2/O1
600 LET B6 = T*E(5)*D(3)+E(3)*D(4)*(T-1)
602 LET B6 = B6+T*D(5)*E(4)-E(4)*D(3)*(T-1)-E(3)*T*D(5)-D(4)*T*E(5)
610 LET B7 = T*B(5)*D(3)+B(3)*D(4)*(T-1)+T*D(5)*B(4)
615 LET B7 = B7-B(4)*D(3)*(T-1)-E(3)*T*D(5)-D(4)*T*B(5)
620 LET B8 = T*B(5)*E(2)+B(3)*E(4)*(T-1)+T*E(5)*B(4)
625 LET B8 = B8-B(4)*E(3)*(T-1)-B(3)*T*E(5)-E(4)*T*B(5)
630 LET B9 = T*B(5)*E(3)*D(4)+B(3)*E(4)*T*D(5)+T*E(5)*D(3)*B(4)
635 LET B9 = B9-B(4)*E(3)*T*D(5)-B(3)*T*E(5)*D(4)-E(4)*D(3)*T*B(5)
640 LET O3 = -B6*B(1)+B7*E(1)-B8*D(1)+B9
645 LET Y = O3/O1
650 LET C6 = E(2)*T*D(5)+T*E(5)*D(4)+D(2)*(T-1)*E(4)
655 LET C6 = C6-E(4)*T*D(5)-T*E(5)*D(2)-D(4)*(T-1)*E(2)
660 LET C7 = B(2)*T*D(5)+T*B(5)*D(4)+D(2)*(T-1)*B(4)
665 LET C7 = C7-B(4)*T*D(5)-D(4)*(T-1)*B(2)-T*B(5)*D(2)
670 LET C8 = B(2)*T*E(5)+T*B(5)*E(4)+E(2)*(T-1)*B(4)
675 LET C8 = C8-B(4)*T*E(5)-E(4)*(T-1)*B(2)-T*B(5)*E(2)
680 LET C9 = B(2)*T*E(5)*D(4)+T*B(5)*E(4)*D(2)+E(2)*T*D(5)*B(4)
685 LET C9 = C9-B(4)*T*E(5)*D(2)-T*B(5)*E(2)*D(4)-E(4)*T*D(5)*B(2)
690 LET O4 = -C6*B(1)+C7*E(1)-C8*D(1)+C9
695 LET Z = O4/O1
700 LET D6 = E(2)*D(3)*(T-1)+E(3)*T*D(5)+D(2)*T*E(5)
705 LET D6 = D6-T*E(5)*D(3)-E(3)*D(2)*(T-1)-T*D(5)*E(2)
710 LET D7 = B(2)*D(3)*(T-1)+B(3)*T*D(5)+D(2)*T*B(5)
715 LET D7 = D7-T*B(5)*D(3)-T*D(5)*B(2)-B(3)*D(2)*(T-1)
720 LET D8 = B(2)*E(3)*(T-1)+B(3)*T*E(5)+E(2)*T*B(5)
725 LET D8 = D8-T*B(5)*E(3)-B(3)*E(2)*(T-1)-T*E(5)*B(2)
730 LET D9 = B(2)*E(3)*T*D(5)+B(3)*T*E(5)*D(2)+E(2)*D(3)*T*B(5)
735 LET D9 = D9-T*B(5)*E(3)*D(2)-B(3)*E(2)*T*D(5)-T*E(5)*D(3)*B(2)
740 LET O5 = -D6*B(1)+D7*E(1)-D(8)*D(1)+D9
750 LET U = O5/O1
760 REM COMPOSICION DEL CRUDO
770 LET P9 = X*P(1)+Y*P(2)+Z*P(3)+U*P(4)+T*P(5)
775 LET P9 = (INT(P9*100))/100
780 LET S9 = X*S(1)+Y*S(2)+Z*S(3)+U*S(4)+T*S(5)
785 LET S9 = (INT(S9*100))/100
790 LET A9 = X*A(1)+Y*A(2)+Z*A(3)+U*A(4)+T*A(5)
795 LET A9 = (INT(A9*100))/100
800 LET F9 = X*F(1)+Y*F(2)+Z*F(3)+U*F(4)+T*F(5)
805 LET F9 = (INT(F9*100))/100
810 LET C9 = X*C(1)+Y*C(2)+Z*C(3)+U*C(4)+T*C(5)
815 LET C9 = (INT(C9*100))/100
820 LET G9 = X*G(1)+Y*G(2)+Z*G(3)+U*G(4)+T*G(5)
825 LET G9 = (INT(G9*100))/100
826 LET G9 = (INT(G9*100))/100
830 LET N9 = X*N(1)+T*N(2)+N*N(3)+U*N(4)+T*N(5)
835 LET N9 = (INT(N9*100))/100
840 LET K9 = X*K(1)+Y*K(2)+Z*K(3)+U*K(4)+T*K(5)
845 LET K9 = (INT(K9*100))/100
850 LET R9 = X*R(1)+Y*R(2)+Z*R(3)+U*R(4)
855 LET R9 = (INT(R9*100))/100
900 REM COMPOSICION DEL CLINKER
910 LET S8 = S9*100/(100-P9)
915 LET S8 = (INT(S8*100))/100
920 LET A8 = A9*100/(100-P9)
925 LET A8 = (INT(A8*100))/100
930 LET F8 = F9*100/(100-P9)
935 LET F8 = (INT(F8*100))/100
940 LET C8 = C9*100/(100-P9)
945 LET C8 = (INT(C8*100))/100
950 LET G8 = G9*100/(100-P9)

```

Centigrados

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26  
27  
28  
29



```

960 LET N8 = N9*100/(100-P9)
965 LET N8 = (INT(N8*100))/100
970 LET K8 = K9*100/(100-P9)
975 LET K8 = (INT(K8*100))/100
1000 REM MODULOS
1010 LET M9 = C8*100/(2.8*S8+1.18*AB+.65*F8)
1020 LET M8 = S8/(AB+FB)
1030 LET M7 = AB/F8
1040 REM COMPOSICION POTENCIAL
1050 IF M7<.84 THEN 1120
1055 LET J1 = C8*4.071-(7.6*S8+6.718*AB+1.43*F8)
1060 LET J3 = AB*2.65-F8*1.692
1070 LET J2 = S8*2.852-J1*.7544
1090 LET J4 = F8*3.043
1100 GO TO 1160
1120 LET J1 = C8*4.071-7.6*S8-4.479*AB-2.859*F8
1130 LET J2 = S8*2.852-J1*.7544
1135 LET J3 = 0
1140 LET J7 = 1.7*F8-2.65*AB
1150 LET J4 = 4.78*AB
1160 LET J5 = 3.0*AB+2.25*FB+GB+KB+N8
1170 LET J6 = M9+10*M8-.3*(GB+N8+KB)
1180 LET J8 = N8+.658*KB
1181 PRINT
1182 PRINT "DOSIFICACION %"
1184 PRINT "PRIMER COMPONENTE=";" " ;(INT(X*10000))/100
1186 PRINT "SEGUNDO COMPONENTE=";" " ;(INT(Y*10000))/100
1188 PRINT "TERCER COMPONENTE ";" " ;(INT(Z*10000))/100
1190 PRINT "CUARTO COMPONENTE ";" " ;(INT(U*10000))/100
1192 PRINT "CENIZA INCORPORADA" ;" " ;(INT(T*10000))/100
1200 PRINT "ANALISISQUIMICO" ;" " ;"CRUDO" ;" " ;"CLINKER"
1205 PRINT
1210 PRINT "PERDIDA AL FUEGO" ;" " ;"P9;" " ;"R8
1220 PRINT "SIO2 " ;" " ;"S9;" " ;"S8
1230 PRINT "AL2O3 " ;" " ;"A9;" " ;"A8
1240 PRINT "FE2O3 " ;" " ;"F9;"
1245 PRINT " " ;"FB"
1250 PRINT "CAO " ;" " ;"C9;" " ;"C8
1260 PRINT "MGO " ;" " ;"G9;" " ;"G8
1270 PRINT "NA2O " ;" " ;"N9;" " ;"N8
1280 PRINT "K2O " ;" " ;"K9;" " ;"K8
1300 PRINT
1310 PRINT "COSTE DE LAS MATERIAS PRIMAS " ;" " ;"R9"
1330 PRINT
1340 PRINT "COMPOSICION POTENCIAL";
1342 LET J1 = (INT(J1*100))/100
1343 LET J2 = (INT(J2*100))/100
1344 LET J3 = (INT(J3*100))/100
1345 LET J4 = (INT(J4*100))/100
1346 LET J5 = (INT(J5*100))/100
1347 LET J6 = (INT(J6*100))/100
1348 LET J7 = (INT(J7*100))/100
1349 LET J8 = (INT(J8*100))/100
1350 PRINT
1351 LET M8 = (INT(M8*100))/100
1352 LET M7 = (INT(M7*100))/100
1353 LET M9 = (INT(M9*100))/100
1360 PRINT "SILICATO TRICALCICO 'SC3' " ;" " ;"J1
1370 PRINT "SILICATO BICALCICO 'SC2' " ;" " ;"J2
1380 PRINT "ALUMINATO TRICALCICO 'AC3' " ;" " ;"J3
1390 PRINT "FERRITOALUMINATO TETRACALCICO 'FAC4' " ;" " ;"J4
1400 PRINT "FERRITO BICALCICO 'FC2' " ;" " ;"J7
1410 PRINT "SODIO EQUIVALENTE " ;" " ;"J8
1420 PRINT
1430 PRINT
1440 PRINT "INDICES"
1450 PRINT "MODULO DE SILICATOS 'MS' " ;" " ;"M8
1460 PRINT "MODULO DE FUNDENTES 'MF' " ;" " ;"M7
1470 PRINT "STANDARD DE CAL 'SC' " ;" " ;"M9
1480 PRINT "FASE LIQUIDA

```

Centrotec

1480 PRINT "FASE LIQUIDA" 1450 "1" "1" J5  
1490 PRINT "BURNABILITY FACTOR" "1" "1" J6  
2000 STOP  
2010 END

3000 DATA 35.62,41.64,4.81,10,1.05  
3100 DATA 14.99,.9,66.86,6.57,46.04  
3200 DATA .68,.5,21.2,.17,22.93  
3300 DATA 2.98,.2,.67,81.98,17.41  
3400 DATA 44.91,53,1.27,.38,1.27  
3500 DATA .6,1.3,.65,2,3.19  
3600 DATA .04,.01,.6,.2,.18  
3700 DATA .12,.04,3.33,1,2.82  
3800 DATA 100,300,1000,800,.01

FC 20423  
\*EDIT  
\*

1  
2  
3  
4  
5  
6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24  
25  
26

63  
64

14	EDIT			6
15	*3200DATA34.05.17.43.4.91.2.1.38.17..96..29..73.600.70			7
16	*			7
17				8
18				8
19	RIUN			9
20	STANDAR DE CAL FIJADO?			9
21	?98			10
22	MODULO DE SILICATOS. MS?			10
23	?3			11
24	MODULO DE FUNDENTES. MF=?			11
25	?7			12
26	SE TIENE EN CUENTA LA INCORPORACION DE CENIZAS?			12
27	?Y			13
28	SE HA DE CALCULAR?			13
29	?Y			14
30	CONSUMO ESPECIFICO. KCAL/KG DE CLINKER?			14
31	?1100			15
32	PORCENTAJE DE CENIZAS EN EL CARBON?			15
33	?14			16
34	POTENCIA CALORIFICA DEL CARBON?			16
35	?7500			17
36				17
37	DOSIFICACION X			18
38	PRIMER COMPONENTE=	63.02	MARCA ALCALA 6°	18
39	SEGUNDO COMPONENTE	11.32	CALIZA MORON. F°	19
40	TERCER COMPONENTE	24.11	MARCA MORON. F°	19
41	CUARTO COMPONENTE	.22	PIKITA CALCINADA.	20
42	CENIZA INCORPORADA	1.32		20
43				21
44	ANALISISQUIMICO	CRUDO	CLINKER	21
45				22
46	PERDIDA AL FUEGO	35.4	0	22
47	SiO2	14.32	22.24	23
48	Al2O3	1.27	3.04	23
49	FE2O3	2.81	4.34	24
50	CaO	43.52	67.35998	24
51	MgO	.7899998	1.22	25
52	NA2O	.2000000E-1	.3000000E-1	25
53	K2O	.29	.44	26
54				26
55	COSTE DE LAS MATERIAS PRIMAS		323.24	27
56				27
57	CALCIMETRIA RECOMENDADA PARA EL CRUDO		80.28	28
58				28
59	COMPOSICION POTENCIAL			29
60	SILICATO TRICALCICO	'SC3'	78.56	29
61	SILICATO BICALCICO	'SC2'	4.15	30
62	ALUMINATO TRICALCICO	'AC3'	.7099998	30
63	FERRITOALUMINATO TETRACALCICO	'FAC4'	13.2	31
64	FERRITO BICALCICO	'FC2'	0	31
65	SODIO EQUIVALENTE		31	32
66				32
67				33
68	INDICES			33
69	MODULO DE SILICATOS	'MS'	3.01	34
70	MODULO DE FUNDENTES	'MF'	.6999998	34
71	STANDARD DE CAL	'SC'	98.07	35
72	FASE LIQUIDA	'1450'	20.57	35
73	BURNABILITY FACTOR		123.14	36
74				36
2	ST 2000			37
3	*EDIT			37
4	*			38

PAGE 1  
 BMDPIR - MULTIPLE LINEAR REGRESSION  
 DEPARTMENT OF BIOMATHEMATICS  
 UNIVERSITY OF CALIFORNIA, LOS ANGELES, CA 90024  
 (213) 825-5940 TWX UCLA LSA  
 PROGRAM REVISED JUNE 1981 MANUAL REVISED -- 1981  
 COPYRIGHT (C) 1981 REGENTS OF UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
 12-MAR-87 AT 18:23:05

TO SEE REMARKS AND A SUMMARY OF NEW FEATURES FOR  
 THIS PROGRAM, STATE NEWS. IN THE PRINT PARAGRAPH.

THIS VERSION OF BMDP HAS BEEN CONVERTED FOR USE ON  
 DEC VAX-11 COMPUTERS BY  
 MANAGEMENT SCIENCE ASSOCIATES, INC.  
 5100 CENTRE AVENUE  
 PITTSBURGH, PA 15232 (412) 683-9533  
 LATEST REVISION JULY 1982

PROGRAM CONTROL INFORMATION

/PROBLEM TITLE IS 'MARGA ALCALA 67-28'.  
 /INPUT VARIABLES ARE 16.  
 FORMAT IS FREE.  
 /VARIABLE NAMES ARE A,B,C,D,E,F,G,H,I,J,K,L,M,N,O,P.  
 /regress dependent is B.  
 INDEPENDENT ARE C,D,E,F,G,H,I,J,K,L,M,N,O,P.  
 /PRINT DATA.  
 CORRELATION.  
 COVARIANCE.  
 RREG.  
 /END

PROBLEM TITLE IS  
 MARGA ALCALA 67-28

NUMBER OF VARIABLES TO READ IN. . . . . 16  
 NUMBER OF VARIABLES ADDED BY TRANSFORMATIONS. . . . . 0  
 TOTAL NUMBER OF VARIABLES . . . . . 16  
 NUMBER OF CASES TO READ IN. . . . . TO END  
 CASE LABELING VARIABLES . . . . .  
 MISSING VALUES CHECKED BEFORE OR AFTER TRANS. . . . . NEITHER  
 BLANKS ARE. . . . . MISSING  
 INPUT FILE. . . . . UNIT 5 . . . . . SYS\$USUARIO:[QUIMINO.MGR.REG]MA6728.DAT:5  
 REWIND INPUT UNIT PRIOR TO READING. . . . . NO  
 NUMBER OF WORDS OF DYNAMIC STORAGE. . . . . 20000

VARIABLES TO BE USED  
 1 A 2 B 3 C 4 D 5 E  
 6 F 7 G 8 H 9 I 10 J  
 11 K 12 L 13 M 14 N 15 O  
 16 P

INPUT FORMAT IS  
 FREE

MAXIMUM LENGTH DATA RECORD IS 80 CHARACTERS.  
 REGRESSION INTERCEPT. . . . . NON-ZERO  
 GROUPING VARIABLE . . . . .  
 WEIGHT VARIABLE . . . . .  
 PRINT COVARIANCE MATRIX . . . . . YES  
 PRINT CORRELATION MATRIX. . . . . YES  
 PRINT CORRELATION OF REGRESSION COEFFICIENTS. . . . . YES  
 PRINT RESIDUALS . . . . . YES  
 PRINT NORMAL PROBABILITY PLOT . . . . . NO  
 PRINT DETRENDED NORMAL PROBABILITY PLOT . . . . . NO

\*\*\* DATA ERROR \*\*\* CASE NO. 24 WILL BE DELETED.  
 WHILE READING VARIABLE 1, 2 RECORD(S) WOULD BE READ  
 AS DEFINED BY CASE ONE, THERE MUST BE 1 RECORD(S) PER CASE.

NUMBER OF CASES READ . . . . . 24  
 CASES WITH USE SET TO NEGATIVE VALUE . . . . . 1  
 REMAINING NUMBER OF CASES . . . . . 23

VARIABLE	MEAN	STANDARD DEVIATION	COEFFICIENT OF VARIATION	MINIMUM	MAXIMUM
1 A	95.00000	3.66804	0.03861	89.00000	101.00000
2 B	623.56519	22.92444	0.03676	580.00000	682.00000
3 C	1.19957	0.24881	0.20741	0.94000	2.14000
4 D	75.33478	4.48488	0.05953	61.30000	81.10000
5 E	4.12217	3.73288	0.90556	0.20000	13.50000
6 F	0.49565	0.57877	1.16770	0.00000	2.00000
7 G	14.23044	0.84876	0.05964	12.30000	15.30000
8 H	0.19130	0.36670	1.91682	0.00000	1.30000
9 I	1.84783	0.69862	0.37807	0.50000	3.80000
10 J	2.62087	0.15751	0.06010	2.40000	2.98000
11 K	0.66130	0.06608	0.09992	0.54000	0.83000
12 L	101.42348	2.54028	0.02505	95.81000	105.46000
13 M	124.60870	2.06131	0.01654	120.00000	128.00000
14 N	3596.82642	107.72553	0.02995	3430.00000	3779.00000
15 O	0.00143	0.00013	0.09061	0.00091	0.00158
16 P	187.39130	18.84564	0.10057	171.00000	268.00000

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	2	3	4	5	6	7	8	9
13.45								
42.86	525.5							
0.4409	0.1657	-0.6190E-01						
0.4546E-01	24.00	-0.4252	20.11					
1.207	-26.47	0.2177	-15.08	13.93				
0.4409	-3.329	-0.6550E-01	-0.4712	0.9350	0.3350			
0.8818	6.164	0.7174E-01	-0.1438	-0.7282	-0.1949	0.7204		
0.1636	1.846	-0.1140E-02	0.5417	-0.5358	-0.9913E-01	-0.1134	0.1345	
-1.023	0.3571E-02	0.1202	-0.8581	-0.1711E-01	-0.1880	0.3262	-0.1184E-01	0.4881
0.1505	-1.515	-0.8900E-02	-0.1483	0.2398	0.2200E-01	-0.1126	0.5917E-02	-0.5186E-01
0.2227E-01	-0.4076	-0.4672E-02	-0.6800E-01	0.1050	0.3423E-01	-0.7496E-02	-0.1808E-01	-0.1120E-01
-2.595	14.10	0.5820E-01	8.284	-7.840	-0.5281	0.8721	0.1625	0.7501
-1.273	-2.678	-0.2381E-01	7.042	-5.622	-0.3609	-0.2421	0.1964	0.1741
137.3	154.6	-1.754	-268.8	161.9	12.55	21.62	-11.72	13.28
0.2586E-04	0.1577E-03	-0.5317E-05	-0.3427E-04	0.2665E-04	0.9992E-05	0.3882E-04	-0.2443E-04	0.2351E-07
3.091	30.22	0.4547	6.518	-6.610	-1.853	-5.003	3.804	-0.6696

J	K	L	M	N	O	P
10	11	12	13	14	15	16
0.2481E-01						
-0.1608E-02	0.4366E-02					
-0.2441	-0.4166E-01	6.453				
0.8992E-02	-0.2947E-01	3.835	4.249			
-1.401	2.106	-101.5	-117.6	0.1160E+05		
-0.3823E-05	0.2570E-05	-0.2050E-04	-0.4718E-04	0.4139E-02	-0.1682E-07	
0.4665	-0.4228	1.625	4.842	-401.4	-0.2319E-02	355.2

A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.0000								
0.5097	1.0000							
-0.4831	0.0291	1.0000						
-0.0028	0.2334	-0.3811	1.0000					
0.0881	-0.3094	0.2344	-0.9008	1.0000				
0.2077	-0.2509	-0.4549	-0.1815	0.4328	1.0000			
-0.2832	0.3168	0.3397	-0.0378	-0.2298	-0.3967	1.0000		
0.1217	0.2196	-0.0125	0.3294	-0.3914	-0.4671	-0.3642	1.0000	
-0.3991	0.0002	0.6913	-0.2739	-0.0066	-0.4649	0.5501	-0.0462	1.0000
0.2604	-0.4196	-0.2271	-0.2100	0.4079	0.2414	-0.8424	0.1024	-0.4713
0.0919	-0.2691	-0.2842	-0.2295	0.4256	0.8951	-0.1337	-0.7461	-0.2426
-0.2785	0.2421	0.0921	0.7271	-0.8268	-0.3592	0.4045	0.1745	0.4227
-0.1683	-0.0567	-0.0464	0.7617	-0.7307	-0.3025	-0.1384	0.2599	0.1209
0.3475	0.0626	-0.0654	-0.5564	0.4027	0.2013	0.2365	-0.2967	0.1764
0.0544	0.0530	-0.1648	-0.0589	0.0550	0.1331	0.3526	-0.5137	0.0003
0.0447	0.0700	0.0970	0.0771	-0.0940	-0.1699	-0.3128	0.5504	-0.0509

J	K	L	M	N	O	P
10	11	12	13	14	15	16
1.0000						
-0.1545	1.0000					
-0.6100	-0.2482	1.0000				
0.0277	-0.2163	0.7324	1.0000			
-0.0826	0.2959	-0.3711	-0.5297	1.0000		
-0.1871	0.2998	-0.0622	-0.1765	0.2962	1.0000	
0.1571	-0.3395	0.0339	0.1246	-0.1977	-0.9487	1.0000

PAGE 4 MARGA ALCALA 67-28  
 REGRESSION TITLE IS  
 MARGA ALCALA 67-28

DEPENDENT VARIABLE. . . . . 2 B  
 TOLERANCE . . . . . 0.0100  
 ALL DATA CONSIDERED AS A SINGLE GROUP

MULTIPLE R . . . . . 0.6896                      STD. ERROR OF EST.                      24.6235  
 MULTIPLE R-SQUARE . . . . . 0.4756

ANALYSIS OF VARIANCE

	SUM OF SQUARES	DF	MEAN SQUARE	F RATIO	P(TAIL)
REGRESSION	5498.4956	12	458.2090	0.756	0.6815
RESIDUAL	6063.1611	10	606.3161		

VARIABLE	COEFFICIENT	STD. ERROR	STD. REG COEFF	T	P(2 TAIL)	TOLERANCE
INTERCEPT	-1302.04285					
C	21.31139	41.81800	0.231	0.510	0.6214	0.25458
D	-7.41980	11.10417	-1.452	-0.668	0.5191	0.01111
E	3.88159	6.78160	0.632	0.572	0.5797	0.04301
F	-26.56281	45.12299	-0.671	-0.589	0.5691	0.04041
G	-6.62429	45.76982	-0.245	-0.145	0.8878	0.01826
H	16.90257	53.85521	0.270	0.314	0.7601	0.07067
I	-62.30224	51.85741	-1.899	-1.201	0.2573	0.02100
J	-55.80384	167.04950	-0.383	-0.334	0.7452	0.03981
K						VARIABLE NOT USED. TOLERANCE = 0.008895
L	21.03487	20.34856	2.331	1.034	0.3256	0.01031
M						VARIABLE NOT USED. TOLERANCE = 0.044930
N	0.06649	0.08402	0.312	0.791	0.4471	0.33644
O	0.17920E+06	0.16326E+06	1.014	1.098	0.2981	0.06147
P	0.95798	1.05155	0.788	0.911	0.3837	0.07018

NOTE - ONE OR MORE VARIABLES WERE NOT INCLUDED BECAUSE THEIR INCLUSION WOULD REDUCE THE TOLERANCE OF AN ALREADY INCLUDED VARIABLE BELOW THE TOLERANCE LIMIT

UNIVERSIDAD DE SEVILLA



C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1.0000												
0.1169	1.0000											
-0.2667	0.2086	1.0000										
0.3596	0.6935	-0.0702	1.0000									
0.1976	0.6215	0.2898	0.8646	1.0000								
0.2177	0.4501	0.3505	0.7816	0.9038	1.0000							
0.0048	0.8939	-0.1318	0.7021	0.4894	0.3111	1.0000						
0.2479	0.4139	0.2688	0.7625	0.9305	0.8617	0.2900	1.0000					
-0.1266	-0.8608	0.2752	-0.6506	-0.4039	-0.2140	-0.9553	-0.1741	1.0000				
0.2243	-0.1126	0.1953	-0.3439	-0.2447	-0.1825	-0.3446	-0.1580	0.2931	1.0000			
0.0385	-0.2896	0.0236	-0.1144	-0.1569	-0.0738	-0.2167	-0.0415	0.2912	-0.2633	1.0000		
-0.0041	-0.1160	0.0117	-0.0190	-0.0787	-0.0988	-0.0364	-0.0145	0.1109	-0.2947	-0.2947	1.0000	

O	P
15	16
1.0000	
0.9282	1.0000

NOTE - NEGATIVE CASE NUMBER DENOTES A CASE WITH MISSING VALUES.  
 THE NUMBER OF STANDARD DEVIATIONS FROM THE MEAN IS DENOTED BY UP TO 3 ASTERISKS TO THE RIGHT  
 OF EACH RESIDUAL OR VARIABLE.  
 MISSING VALUES AND VALUES OUT OF RANGE ARE DENOTED BY VALUES  
 GREATER THAN OR EQUAL TO 0.2127E+38 IN ABSOLUTE VALUE.

CASE LABEL	NO.	RESIDUAL	PREDICTED VALUE	VARIABLES											
				1 A	2 B	3 C	4 D	5 E	6 F	7 G	8 H	9 I	10 J	11 K	12 L
1	7.834	621.2	98.00	629.0	0.9400 *	72.40	7.800	1.000	14.10	0.0000E+00	1.000 *	2.700	0.7200	98.07 *	
			122.0	3717.0	0.1422E-02	186.0			101.0	647.0 *	0.9400 *	72.40	7.800	1.000	
2	14.00	633.0	14.10	0.0000E+00	1.000 *	2.700	0.7200	98.07 *	122.0	3688.0	0.1579E-02*	171.0			
			97.00	621.0	1.030	76.80	1.000	0.0000E+00	14.70	0.6000 *	2.700 *	2.480	0.5900 *	103.7	
3	-0.8075	621.8	125.0	3705.0	0.1429E-02	186.0			99.00	642.0 *	1.130	77.70	1.500	0.0000E+00	
			15.30	0.1000	1.500	2.500	0.6300	101.5	15.30	3682.0	0.1542E-02	174.0			
4	-0.2113	642.2	98.00	616.0	0.9600	70.50	10.40 *	1.500 *	13.30	0.0000E+00	0.5000 *	2.690	0.6900	95.81 *	
			120.0	3584.0	0.1458E-02	182.0			100.0	606.0 *	1.090	72.70	7.500	0.6000	
5	0.2533	615.7	13.10	0.0000E+00	1.700	2.980	0.6900	99.09	126.0	3633.0	0.1390E-02	189.0			
			98.00	603.0	1.020	72.90	7.700	2.000 *	7	6	7	8	9	10	
6	14.00	592.0	12.30	0.0000E+00	1.200	2.930	0.8300	98.74 *	125.0	3717.0 *	0.1476E-02	180.0			
			94.00	620.0	1.200	77.30	1.700	0.0000E+00	13.80	1.000 **	1.700	2.610	0.5600 *	101.7	
7	6.139	596.9	125.0	3532.0	0.1452E-02	182.0			98.00	682.0 **	1.440	78.30	0.6000	0.0000E+00	
			98.00	603.0	1.020	72.90	7.700	2.000 *	14.70	0.4000	2.400	2.500	0.6100	104.1 *	
8	-19.98	640.0	126.0	3480.0	0.1511E-02	177.0			89.00	613.0 *	1.200	76.80	0.7000	0.7000	
			15.30	0.0000E+00	1.900	2.400	0.6900	102.8	15.30	3717.0 *	0.1507E-02	177.0			
9	50.63 **	631.4	98.00	655.0 *	1.100	74.30	3.600	0.4000	123.0	3779.0 *	0.1537E-02	196.0			
			98.00	655.0 *	1.100	74.30	3.600	0.4000	96.00	636.0	1.000	77.90	0.2000 *	0.9000	
10	-20.72	633.7	15.00	0.0000E+00	2.100	2.440	0.7100	105.5 *	125.0	3550.0	0.1333E-02	196.0			
			92.00	619.0	2.140 ***	61.30	13.50 ***	0.0000E+00	15.20	0.0000E+00	3.800 **	2.530	0.6400	99.11	
11	-2.821	657.8	121.0	3765.0 *	0.1351E-02	194.0			90.00	641.0 *	1.480 *	80.10	2.010	0.3000	
			14.70	0.0000E+00	1.600	2.530	0.6600	103.5	14.70	3430.0 *	0.1348E-02	194.0			
12	3.218	632.8	93.00	614.0	1.250	77.20	0.5000	0.0000E+00	14.90	0.0000E+00	2.300	2.540	0.6300	103.4	
			128.0	3550.0	0.1447E-02	183.0			96.00	620.0	1.110	80.00	1.900	0.5000	
13	-6.550	625.5	14.30	0.0000E+00	2.100	2.570	0.6800	104.4	127.0	3598.0	0.1466E-02	181.0			
			92.00	600.0 *	1.190	81.10	3.200	1.400	13.90	0.0000E+00	1.800	2.500	0.7600 *	104.9	
14	12.09	628.9	127.0	3445.0 *	0.1410E-02	187.0			127.0	3445.0 *	0.1410E-02	187.0			
			96.00	654.0 *	1.190	79.70	0.9000	0.0000E+00	18	13	04	641.9			

CENTRO DE CALCULO

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

			13.80	0.7000	*	2.000	2.590	0.5800	*	2876
			126.0	3550.		0.1504E-02	178.0			
19	1.420	631.6	97.00	633.0		1.190	78.60	1.500		0.0000E+00
			12.60	* 1.300	***	1.200	2.800	* 0.5400	*	101.1
			126.0	3480.	*	0.9130E-03***	268.0	***		
20	-35.80	* 615.8	90.00	* 580.0	*	1.220	76.50	3.600		0.0000E+00
			13.50	0.3000		1.600	2.870	* 0.6100		100.7
			126.0	3480.	*	0.1509E-02	178.0			
21	-6.341	617.3	93.00	611.0		1.270	76.80	3.000		0.0000E+00
			14.40	0.0000E+00		1.400	2.730	0.6400		100.6
			125.0	3480.	*	0.1473E-02	181.0			
22	-2.347	602.3	90.00	* 600.0	*	1.250	69.20	* 8.800	*	0.7000
			14.60	0.0000E+00		2.300	2.610	0.6900		99.37
			122.0	* 3532.		0.1456E-02	183.0			
23	0.2002E-01	600.0	90.00	* 600.0	*	1.250	72.20	5.400		0.4000
			14.40	0.0000E+00		2.700	2.620	0.6700		101.6
			125.0	3633.		0.1408E-02	187.0			

SERIAL CORRELATION OF RESIDUALS = -0.3330

NUMBER OF INTEGER WORDS OF STORAGE USED IN PRECEDING  
CPU TIME USED 3.840 SECONDS

PROBLEM 838

PAGE 1

~~BRUP4P FACTOR ANALYSIS~~  
~~DEPARTMENT OF BIOMATHEMATICS~~  
~~UNIVERSITY OF CALIFORNIA, LOS ANGELES, CA 90024~~  
~~(213) 825-5940 FAX UCLA LSA~~  
~~PROGRAM REVISED JUNE 1981 MANUAL REVISED -- 1981~~  
~~LUMTRIGHI (L) 1981 REGENTS OF UNIVERSITY OF CALIFORNIA~~  
~~13-MAR-81 AT 19:21:41~~

~~TO SEE REMARKS AND A SUMMARY OF NEW FEATURES FOR~~  
~~THIS PROGRAM, STATE NEWS, IN THE PRINT PACKAGE.~~

~~THIS VERSION OF BRUP HAS BEEN CONVERTED FOR USE ON~~  
~~DEC VAX-11 COMPUTERS BY~~

~~MANAGEMENT SCIENCE ASSOCIATES, INC.~~  
~~5100 CENTRE AVENUE~~  
~~PITTSBURGH, PA 15232 (412) 683-9555~~  
~~LATEST REVISION JULY 1982~~

CEN

PROGRAM CONTROL INFORMATION

CEN

~~/PROBLEM FILE IS "MAGDA-LLUSIA-28".~~  
~~/INPUT VARIABLES ARE 16.~~  
~~FORMAT IS FREE.~~  
~~/VARIABLE NAMES ARE A,Y,E,C,L,E,F,G,H,I,J,K,L,M,N,O,P.~~  
~~/FACTOR METHOD IS MLFA.~~  
~~/ROTATE METHOD IS QUARK.~~  
~~/PRINT STANDARD.~~  
~~PLOT.~~  
~~PAIRED.~~  
~~RESIDUAL.~~  
~~/END~~

CEN

~~PROBLEM FILE IS~~  
~~MAGDA-LLUSIA-28~~

CEN

~~NUMBER OF VARIABLES TO READ IN. . . . . 16~~  
~~NUMBER OF VARIABLES ADDED BY TRANSFORMATIONS. . . . . 0~~  
~~TOTAL NUMBER OF VARIABLES. . . . . 16~~  
~~NUMBER OF CASES TO READ IN. . . . . TO END~~  
~~CASE LABELING VARIABLES~~

CEN

~~MISSING VALUES CHECKED BEFORE OR AFTER TRANS. . . . . NEITHER~~  
~~BLANKS ARE . . . . . MISSING~~  
~~INPUT FILE . . . . . UNIT . . . . . SYS\$SUBAR10:EQUMINU.M6K.REGJMLL28.DAT:5~~  
~~KEEPING INPUT UNIT PRIOR TO READING. . . . . DATA . . . . . NO~~  
~~NUMBER OF WORDS OF DYNAMIC STORAGE. . . . . 20000~~

CEN

VARIABLES TO BE USED

<del>1 A</del>	<del>2 B</del>	<del>3 C</del>	<del>4 D</del>	<del>5 E</del>
<del>6 F</del>	<del>7 G</del>	<del>8 H</del>	<del>9 I</del>	<del>10 J</del>
<del>11 K</del>	<del>12 L</del>	<del>13 M</del>	<del>14 N</del>	<del>15 O</del>
<del>16 P</del>				

CEN

INPUT FORKRAI IS  
FREE

MAXIMUM LENGTH DATA RECORD IS 80 CHARACTERS.

NUMBER OF VARIABLES TO BE USED . . . . . 16

WEIGHT VARIABLE . . . . .  
INITIAL COMMUNITIES ARE SQUARED MULTIPLE CORRELATIONS  
OR COVARIANCES.

MAXIMUM LIKELIHOOD FACTOR ANALYSIS IS PERFORMED.

NUMBER OF ITERATIONS FOR INITIAL FACTOR EXTRACTION 25

NUMBER OF FACTORS IS LIMITED TO THE NUMBER OF EIGENVALUES  
GREATER THAN 1.000

TOLERANCE LIMIT FOR MATRIX INVERSION . . . . . 0.00010

DIRECT QUANTININ ROTATION FOR SIMPLEX LOADINGS IS PERFORMED.

GAMMA 0.0000

MAXIMUM NUMBER OF ITERATIONS FOR ROTATION 50

CONVERGENCE CRITERION FOR ROTATION . . . . . 0.0000100

RAISECK'S NORMALIZATION . . . . . YES

CENTRO DE CALCULO

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

MARKA LUGETA-28

AFTER TRANSFORMATIONS FOR FIRST 5 CASES.  
 CASES WITH ZERO WEIGHTS AND MISSING DATA NOT INCLUDED.

CASE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
LABEL	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
	K	L	M	N	O	P				
1	77	552	1900	930	63100	12500	11500	8100	630	2400
	2260	77400	116000	4285	00103	167				
2	101	605	1790	1290	56800	17300	12500	8500	810	2250
	2330	78100	114200	4205	00155	175				
3	85	571	1050	1240	56700	17700	11700	7900	1530	2430
	2330	78100	115800	4258	00154	176				
4	68	571	950	1280	55100	18800	12100	8200	1170	2330
	2320	77700	114100	4311	00151	179				
5	75	598	850	1200	57400	16300	12300	7900	1530	2330
	2430	77500	116300	4363	00164	166				

NUMBER OF CASES READ . . . . . 29

4 KAKUA LLUSEIA-28

STATISTICS FOR EACH VARIABLE

VARIABLE	MEAN	STANDARD DEVIATION	Coefficient OF VARIATION	SMALLEST VALUE	SMALLEST STANDARD SCORE	FIRST CASE FOR SMALLEST	LARGEST VALUE	LARGEST STANDARD SCORE	FIRST CASE FOR LARGEST
A	92.41379	2.40103	0.284527E-01	80.0000	-2.30	11	102.0000	1.77	23
B	609.79802	21.41000	0.452584E-01	571.0000	-1.27	3	663.0000	2.09	17
C	0.78586	0.10672	0.135801	0.4900	-2.77	23	1.0500	2.48	3
D	1.24531	0.14692	0.119075	0.9300	-2.51	1	1.6300	2.25	15
E	38.14345	2.60293	0.447985E-01	34.2000	-1.50	26	63.9000	2.23	28
F	16.73448	2.31250	0.141773	11.7000	-2.12	28	20.4000	1.55	23
G	11.41379	0.76298	0.493245E-01	10.2000	-2.15	16	12.5000	1.93	2
H	8.00345	0.22910	0.286254E-01	7.6000	-1.76	22	8.6000	2.60	7
I	1.10517	0.20290	0.237885	0.6300	-1.81	1	1.5300	1.62	3
J	2.44245	0.07432	0.304159E-01	2.2500	-2.60	2	2.5700	1.70	16
K	2.30493	0.21000	0.936157E-01	2.0700	-1.10	7	3.3200	4.68	4
L	98.46897	1.02438	0.104031E-01	95.8000	-1.63	12	100.3000	1.79	15
M	110.35172	1.77160	0.130438E-01	111.7000	-3.07	8	119.3000	1.94	16
N	4411.03448	419.78300	0.951666E-01	3985.0000	-1.02	8	5466.0000	2.51	18
O	0.00156	0.00008	0.505580E-01	0.0014	-2.02	14	0.0018	2.45	29
P	173.48276	7.19433	0.414701E-01	157.0000	-2.29	29	189.0000	2.16	14

E NUMBERS ABOVE REFER TO DATA MATRIX BEFORE ANY CASES

E BEEN DELETED DUE TO MISSING DATA.

ES WITH ZERO WEIGHTS ARE NOT INCLUDED.

STANDARD SCORES		VARIABLE INDICES																
LABEL	NU.	WEIGHT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1.000	1.2	1.0	1.1	1.0	1.9	1.8	0.2	0.4	-1.8	-0.6	-0.2	0.9	0.2	-0.3	0.9	-0.9	
2	1.000	1.6	0.0	0.0	0.1	0.5	0.2	1.9	2.2	-1.1	-2.6	0.1	-0.4	-1.4	-0.5	-0.2	0.2	
3	1.000	1.4	1.5	2.5	0.4	0.5	0.4	0.5	-0.5	1.6	-0.2	0.1	0.2	-0.4	-0.4	-0.3	0.3	
4	1.000	0.8	1.5	1.5	0.1	1.2	0.9	1.2	0.9	0.2	-1.5	4.7	-0.8	-1.5	-0.2	-0.7	0.8	
5	1.000	0.1	0.5	0.4	0.7	0.5	0.2	1.6	-0.5	1.6	-1.5	0.6	1.0	0.0	-0.1	1.0	-1.0	
6	1.000	1.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0	-0.5	0.4	0.4	-0.1	-0.2	0.1	-0.1	-1.0	1.0	
7	1.000	1.2	0.8	0.1	0.5	0.0	0.0	-1.3	2.6	1.4	-0.3	-1.1	0.3	0.1	-0.2	-0.5	0.5	
8	1.000	1.0	1.2	0.3	0.7	1.0	1.2	-1.1	0.4	0.2	1.2	-0.6	-1.5	-3.1	-1.0	-0.6	0.6	
9	1.000	1.0	1.2	1.9	1.6	1.5	1.2	0.5	-0.5	-0.8	-0.3	0.1	0.8	0.9	-1.0	0.6	-0.6	
10	1.000	0.6	0.4	0.0	0.5	1.1	1.0	0.0	0.0	1.6	0.1	-0.2	-0.7	-0.3	-0.2	0.4	-0.3	
11	1.000	2.3	0.6	0.1	2.0	0.8	-0.6	0.0	0.5	0.2	0.4	0.1	0.4	0.6	-1.0	1.6	-1.6	
12	1.000	0.4	0.8	0.2	0.1	0.8	1.2	0.7	0.0	-0.4	1.2	-0.4	-1.6	-0.5	-1.0	-0.4	0.3	
13	1.000	1.0	0.5	0.7	0.0	0.2	-0.1	-0.4	0.0	-0.1	0.4	-0.3	0.0	0.2	0.7	0.3	-0.3	
14	1.000	0.1	1.1	0.1	0.1	0.4	-0.7	-0.4	2.2	0.9	-1.1	-0.7	1.0	0.2	-0.4	-2.0	2.2	
15	1.000	0.4	1.5	0.5	2.5	1.2	1.4	2.0	-0.5	0.6	1.4	-0.8	1.8	1.9	1.9	-0.5	0.3	
16	1.000	0.1	1.7	0.6	0.1	1.7	1.4	2.2	0.0	0.1	1.7	-0.9	1.3	1.9	1.9	-1.5	1.3	
17	1.000	0.3	2.1	0.1	0.8	0.0	-0.2	0.5	0.4	0.0	-0.7	-0.2	0.6	0.1	2.4	-1.1	1.2	
18	1.000	0.5	0.6	0.1	0.1	0.5	0.7	0.7	0.0	-0.8	1.2	-0.5	-1.1	-0.1	2.5	0.9	-0.9	
19	1.000	0.5	0.4	0.2	1.2	0.0	0.1	0.5	-0.5	0.6	-0.3	0.1	0.6	0.4	0.9	0.1	-0.1	
20	1.000	1.6	1.2	0.8	1.8	1.5	1.5	0.9	-0.5	-0.8	0.6	-0.4	1.5	1.4	0.0	-1.1	1.0	
21	1.000	1.2	0.2	0.5	0.8	0.1	-0.2	0.7	-0.5	-1.1	-0.5	0.2	0.0	0.0	-0.3	-0.4	0.3	
22	1.000	0.1	0.2	1.7	0.2	0.5	0.5	0.5	-1.8	-0.8	0.8	0.4	-0.8	0.3	-0.1	1.1	-1.2	
23	1.000	1.8	1.5	2.8	0.4	1.5	1.5	0.5	-1.8	-0.1	-1.0	0.4	-1.5	0.2	-1.0	-0.5	0.5	
24	1.000	0.7	0.7	0.5	0.8	0.5	0.4	0.5	-1.5	-0.8	0.4	0.3	-0.6	-0.2	-0.1	0.6	-0.6	
25	1.000	0.8	0.7	0.5	0.5	0.5	0.4	1.0	0.5	-1.5	-0.6	0.4	-0.8	-0.6	-0.5	1.1	-1.0	
26	1.000	0.7	-1.0	0.0	0.5	1.5	1.5	0.2	-0.5	-0.1	0.5	0.0	1.6	-0.8	-0.5	0.1	-0.2	
27	1.000	0.5	-0.8	0.7	0.7	1.4	1.1	0.3	0.4	0.6	0.3	-0.2	-0.8	-0.8	-0.6	-1.1	1.2	
28	1.000	0.3	-0.1	0.6	-0.1	2.2	2.1	-1.6	0.4	-1.8	0.6	-0.8	1.4	1.2	-0.5	0.7	-0.8	
29	1.000	-0.6	-0.8	-0.6	-0.7	-0.5	-0.1	-0.9	0.0	1.5	-1.1	0.2	0.5	0.0	-0.4	2.5	-2.3	

CENTRO DE CALCULO

UNIVERSIDAD DE SEVILLA





MAKKA LLUSETA-ZB

LUN-NAIKIX

A	B	C	U	E	F	G	H	I	J	K	L	M	13
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13
1	1.000												
2	0.368	1.000											
3	0.334	0.026	1.000										
4	0.377	0.420	0.093	1.000									
5	0.011	0.484	0.042	0.099	1.000								
6	0.016	0.508	0.029	0.003	0.975	1.000							
7	0.216	0.306	0.027	0.262	0.479	0.376	1.000						
8	0.111	0.016	0.363	0.167	0.065	0.147	0.108	1.000					
9	0.529	0.173	0.224	0.061	0.395	0.285	0.029	0.165	1.000				
10	0.117	0.116	0.225	0.279	0.168	0.004	0.759	0.492	0.147	1.000			
11	0.036	0.326	0.162	0.085	0.376	0.309	0.587	0.100	0.018	0.430	1.000		
12	0.080	0.506	0.097	0.072	0.829	0.919	0.286	0.177	0.074	0.132	0.262	1.000	
13	0.050	0.506	0.285	0.268	0.735	0.724	0.451	0.238	0.086	0.335	0.359	0.730	1.000
14	0.097	0.697	0.092	0.481	0.238	0.254	0.345	0.010	0.077	0.235	0.172	0.324	0.407
15	0.152	0.230	0.104	0.495	0.048	0.029	0.330	0.346	0.156	0.104	0.083	0.052	0.009
16	0.154	0.209	0.114	0.469	0.082	0.056	0.292	0.369	0.187	0.062	0.062	0.036	0.031

N	U	P
14	15	16
14	1.000	
15	0.181	1.000
16	0.163	0.997

SQUARED-MULTIPLE-CORRELATIONS (SMC) OF  
EACH-VARIABLE-WITH-ALL-OTHER-VARIABLES

1-A	0.78111
2-B	0.76987
3-C	0.55885
4-U	0.98351
5-E	0.99895
6-F	0.99977
7-L	0.99745
8-H	0.99135
9-I	0.99698
10-J	0.99809
11-K	0.72341
12-L	0.99955
13-M	0.85956
14-N	0.76615
15-U	0.99867
16-P	0.99865

CENTRO DE CALCULO

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

MARKA LLUSEIA-28

CORRELATIONS

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	1.000													
2	0.215	1.000												
3	0.331	0.035	1.000											
4	0.288	0.215	0.187	1.000										
5	0.001	0.093	0.188	0.005	1.000									
6	0.255	0.137	0.002	0.123	0.616	1.000								
7	0.346	0.007	0.128	0.399	0.604	0.788	1.000							
8	0.303	0.241	0.083	0.186	0.654	0.513	-0.902	1.000						
9	0.370	0.215	0.142	0.356	0.057	0.818	-0.574	-0.198	1.000					
10	0.291	0.206	0.059	0.165	0.755	0.577	-0.908	-0.981	-0.203	1.000				
11	0.235	0.387	0.009	0.237	0.066	-0.186	-0.180	-0.430	0.247	-0.374	1.000			
12	0.275	0.240	0.105	0.328	-0.154	-0.868	0.553	0.167	0.982	0.192	-0.330	1.000		
13	0.157	0.005	0.302	0.366	0.102	-0.212	0.205	0.061	0.349	0.081	-0.014	-0.277	1.000	
14	0.169	0.677	0.227	0.160	-0.216	-0.184	0.477	0.566	0.106	0.523	0.424	-0.051	0.038	1.000
15	0.158	0.092	0.224	0.361	-0.001	-0.355	0.088	-0.159	0.457	-0.135	-0.322	-0.469	-0.320	-0.320
16	0.114	0.055	0.215	0.381	-0.003	-0.363	0.116	-0.106	0.471	-0.107	-0.294	-0.477	-0.477	-0.334

	N	O	P
14	1.000		
15	0.151	1.000	
16	0.117	0.998	1.000

ELEMENTS OF THIS MATRIX ARE THE PARTIAL CORRELATIONS  
 FROM MATRIX OF VARIABLES, PARTIALLY ON ALL OTHER VARIABLES  
 HOLDING ALL OTHER VARIABLES FIXED.

UNIQUENESS ESTIMATES ARE SQUARED MULTIPLE CORRELATIONS (COVARIANCES).

ITERATION NUMBER = 0.3457105

VALUES OF UNALTERED CORRELATION MATRIX

0.1774205	0.807430	0.288165	1.857232	1.304875	0.935201	0.800550	0.448878	0.336207	0.176405
0.151219	0.11456	0.003383	0.001159	0.000539	0.000138				

ITERATION FOR MAXIMUM LIKELIHOOD

ITERATION MAXIMUM CHANGE IN SQR(LIKELIHOOD) LIKELIHOOD CRITERION TO BE MINIMIZED STEP HALVINGS

1 *	3.675318	54.044024	
2 *	1.830908	26.039204	0
3 *	0.802781	20.364630	0
4 *	0.375599	15.487085	0
5 *	0.325852	13.341381	0
6 *	0.355575	13.307657	1
7 *	0.017162	13.218281	2
8 *	0.070943	13.195040	5
9 *	0.094715	13.080752	2
10 *	0.016125	12.982185	2
11 *	0.086978	12.982052	7
12 *	0.083386	12.993722	7
		12.983910	3

14 *	0.072269	12.995907	7
15 *	0.067784	12.961576	4
16 *	0.017409	12.964876	6
17 *	0.058701	12.906551	3
18 *	0.025447	12.895291	5
19 *	0.031097	12.905205	9
20 *	0.022759	12.903114	7
21 *	0.028745	12.886537	5
22 *	0.035707	12.896043	7
23 *	0.052740	12.902736	8
24 *	0.026699	12.913104	7
25 *	0.029670		

\* IN ASTERISK (I.E. ANY) AFTER THE ITERATION NUMBER INDICATES  
 THAT APPROXIMATE DERIVATIVES WERE USED.

ANNUAL CORRELATIONS

0.9957  
 0.9909  
 0.9761  
 0.9472  
 0.9070

COMMUNALITIES OBTAINED FROM 5 FACTORS AFTER 25 ITERATIONS.

THE COMMUNALITY OF A VARIABLE IS ITS SQUARED MULTIPLE CORRELATION WITH THE FACTORS.

1 A	0.4949
2 B	0.5073
3 C	0.2042
4 U	0.4039
5 E	0.9134
6 F	0.9162
7 G	0.9211
8 H	0.9360
9 I	0.8124
10 J	0.9187
11 K	0.5100
12 L	0.9420
13 M	0.7547
14 N	0.1947
15 O	0.9884
16 P	0.9987

UNIVERSIDAD DE LOS ANGELES

FACTOR VARIANCE EXPLAINED CUMULATIVE PROPORTION OF TOTAL VARIANCE

FACTOR	VARIANCE EXPLAINED	CUMULATIVE PROPORTION OF TOTAL VARIANCE
1	2.615373	0.163461
2	4.181696	0.424814
3	1.855709	0.540799
4	1.421832	0.629663
5	1.205519	0.705008

TOTAL VARIANCE IS DEFINED AS THE SUM OF THE DIAGONAL ELEMENTS OF THE CORRELATION MATRIX.

CENTRO DE CALCULO

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

PAGE 11 MARGA LLESEIA-28  
 UNROTATED FACTOR LOADINGS (PATTERN)  
 FOR MAXIMUM LIKELIHOOD CANONICAL FACTORS

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
A	0.111	-0.024	-0.199	0.384	-0.542
B	0.204	0.523	-0.188	0.125	-0.030
C	0.144	0.004	0.309	-0.061	0.209
D	0.448	0.020	-0.439	0.000	0.102
E	0.049	0.911	-0.047	0.043	-0.094
F	0.049	0.911	0.049	-0.166	-0.011
G	0.310	0.536	0.204	0.708	-0.013
H	0.441	0.146	0.854	-0.092	-0.047
I	0.205	-0.274	0.167	-0.102	0.811
J	0.036	0.159	-0.670	-0.662	-0.071
K	0.081	-0.417	0.060	0.437	0.028
L	0.044	0.813	0.076	0.254	0.321
M	-0.049	0.755	-0.375	0.039	0.202
N	0.166	0.304	-0.173	-0.093	0.185
O	-0.988	-0.023	0.107	-0.018	-0.019
P	0.992	-0.010	-0.073	0.055	-0.004
VP	2.015	4.182	1.056	1.422	1.206

CENTRO DE CALCULO

THE VP FOR EACH FACTOR IS THE SUM OF THE SQUARES OF THE ELEMENTS OF THE COLUMN OF THE FACTOR LOADING MATRIX CORRESPONDING TO THAT FACTOR. THE VP IS THE VARIANCE EXPLAINED BY THE FACTOR.

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

MAKGA LUDEIA-28

EIGEN-CORRELATIONS

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1	0.500									
2	0.256	0.633								
3	-0.120	0.025	0.796							
4	0.295	0.260	-0.016	0.596						
5	-0.034	-0.028	0.005	-0.055	0.027					
6	0.005	0.001	-0.022	0.001	-0.019	0.024				
7	-0.005	-0.013	-0.010	-0.044	-0.002	-0.003	0.073			
8	0.025	0.020	-0.012	0.019	-0.004	-0.001	-0.003	0.044		
9	0.047	-0.003	-0.042	-0.045	-0.022	0.009	-0.007	0.001	0.188	
10	0.055	-0.018	-0.009	-0.021	0.007	0.014	-0.058	-0.022	-0.008	0.081
11	0.174	0.154	0.174	-0.034	0.011	-0.017	0.017	-0.013	-0.068	-0.029
12	0.051	0.055	0.007	0.071	0.003	-0.023	0.005	0.003	0.053	-0.030
13	0.055	0.052	-0.182	0.121	-0.007	0.002	-0.010	0.007	0.033	0.005
14	0.187	0.488	0.088	0.315	-0.033	0.012	-0.026	0.024	-0.004	0.014
15	-0.044	0.007	-0.007	-0.008	-0.001	0.000	0.003	0.001	0.005	-0.004
16	-0.040	-0.007	0.001	-0.007	0.001	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.001

K	L	M	N	O	P
11	0.624				
12	-0.019	0.058			
13	0.045	0.026	0.245		
14	0.014	0.027	0.086	0.805	
15	-0.005	0.000	-0.004	0.004	0.012
16	-0.005	-0.001	-0.005	-0.008	-0.009

SELF-CORRELATION, GAMMA = 0.0000

EIGEN-SIMPLICITY

EIGEN-CRITERION	
0	3.916022
1	4.400277
2	3.727100
3	3.572177
4	3.548176
5	3.544557
6	3.543731
7	3.543807
8	3.543783

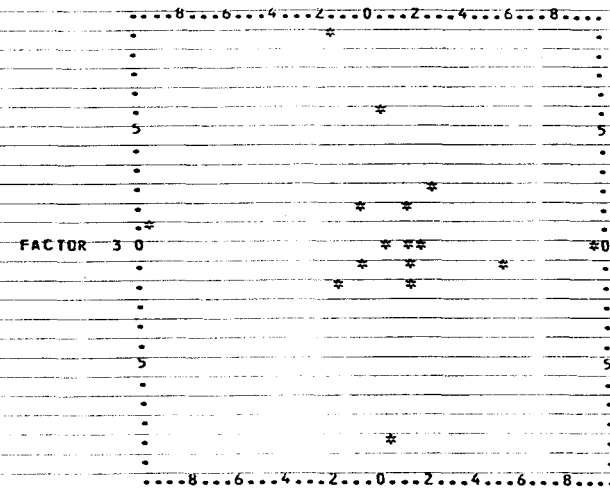
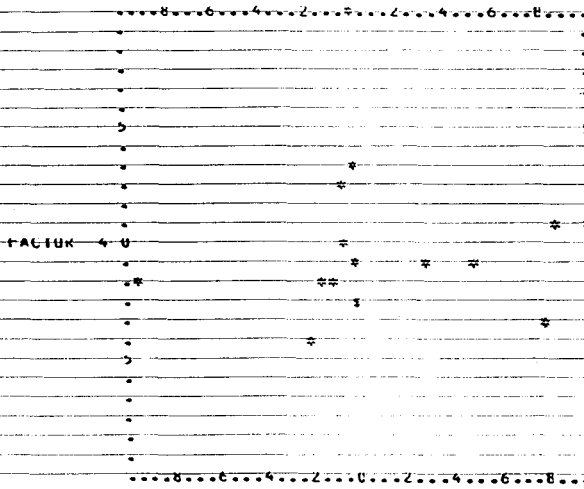
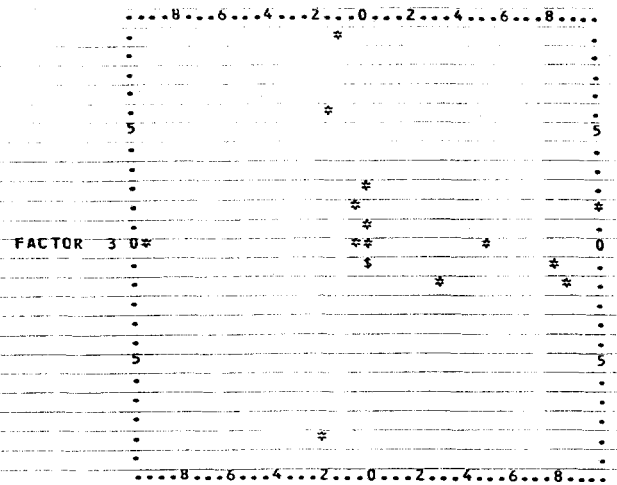
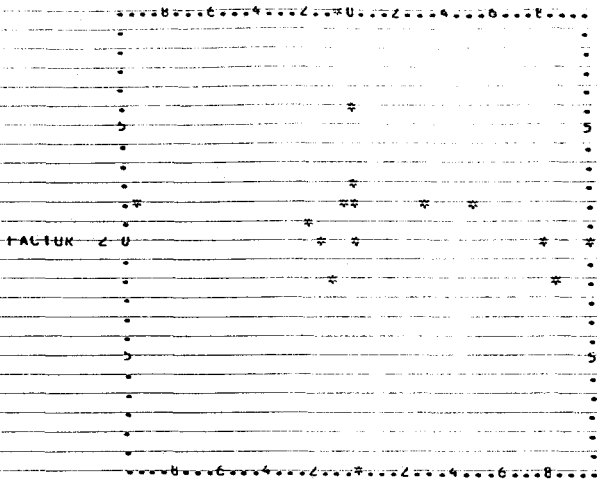


## ROTATED FACTOR LOADINGS - (PATTERN)

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
1	0.018	0.229	0.229	-0.092	-0.618
2	0.220	0.208	-0.027	-0.042	-0.134
3	0.006	0.030	0.030	0.344	0.239
4	0.019	0.544	0.049	-0.289	0.061
5	0.063	0.166	0.195	0.101	-0.227
6	0.949	0.138	0.029	-0.148	0.137
7	0.102	0.155	0.090	-0.130	-0.047
8	0.011	0.163	-0.054	0.972	-0.002
9	0.063	0.170	0.178	-0.005	0.867
10	0.167	0.067	-0.026	-0.431	-0.022
11	0.129	0.037	0.565	-0.128	0.011
12	1.001	0.026	0.165	0.092	0.175
13	0.777	0.025	-0.117	-0.296	0.074
14	0.251	0.155	-0.145	-0.090	0.147
15	0.022	0.970	0.059	-0.217	0.051
16	0.037	0.972	-0.026	0.237	-0.033
VP	3.670	2.436	1.981	1.617	1.347

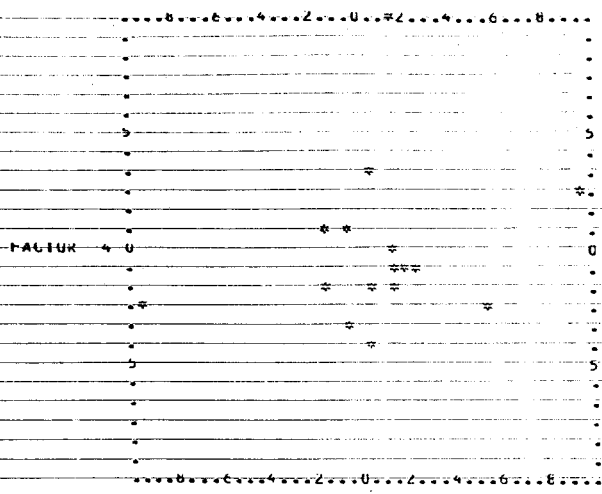
THE VP FOR EACH FACTOR IS THE SUM OF THE SQUARES OF THE  
ELEMENTS OF THE COLUMN OF THE FACTOR PATTERN MATRIX  
CORRESPONDING TO THAT FACTOR. WHEN THE ROTATION IS  
ORTHOGONAL, THE VP IS THE VARIANCE EXPLAINED BY THE FACTOR.

ROTATED FACTOR LOADINGS

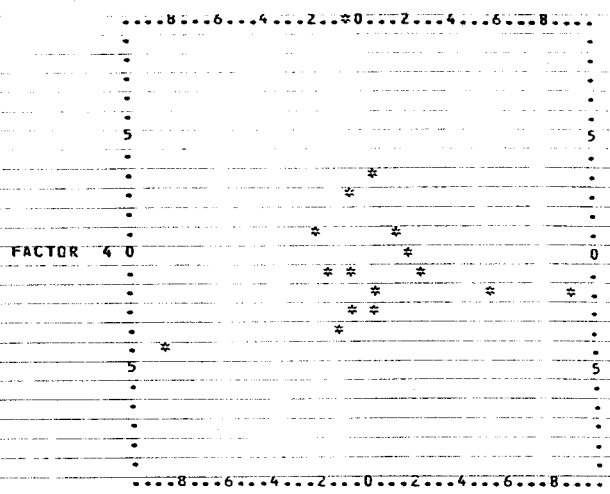


OVERLAY IS INDICATED BY A DOLLAR SIGN. SCALE IS FROM -1 TO +1.

ROTATED FACTOR LOADINGS



FACTOR 4



FACTOR 3

NEGATIVE IS INDICATED BY A DOLLAR SIGN. SCALE IS FROM -1 TO +1.

## CORRECTIONS FOR ROTATED FACTORS

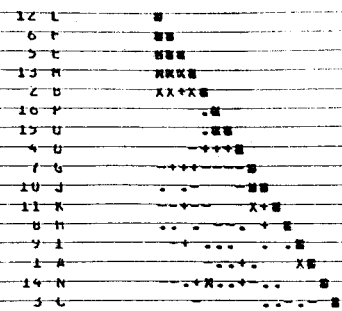
	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
FACTOR 1	1.000				
FACTOR 2	0.075	1.000			
FACTOR 3	0.355	0.147	1.000		
FACTOR 4	0.052	0.015	0.141	1.000	
FACTOR 5	0.052	0.051	0.065	0.150	1.000

UNIKED-KUAIKU-FAKTOR-LOADINGS (PATTERN)

	FAKTOR 1	FAKTOR 2	FAKTOR 3	FAKTOR 4	FAKTOR 5
L	1.001	0.000	0.000	0.000	0.000
O	0.949	0.000	0.000	0.000	0.000
S	0.883	0.000	0.000	0.000	0.000
M	0.777	0.000	0.000	-0.296	0.000
S	0.528	0.000	0.000	0.000	0.000
E	0.000	0.972	0.000	0.000	0.000
U	0.000	0.970	0.000	0.000	0.000
U	0.000	0.594	0.000	-0.289	0.000
S	0.000	0.000	0.890	0.000	0.000
J	0.000	0.000	0.826	-0.431	0.000
K	0.000	0.000	0.563	0.000	0.000
H	0.000	0.000	0.000	0.972	0.000
I	0.000	0.000	0.000	0.000	0.867
A	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.618
N	0.281	0.000	0.000	0.000	0.000
L	0.000	0.000	0.000	0.344	0.000
VP	3.670	2.436	1.987	1.617	1.347

THE ABOVE FACTOR LOADING MATRIX HAS BEEN REARRANGED SO THAT THE COLUMNS APPEAR IN DECREASING ORDER OF VARIANCE EXPLAINED BY FACTORS. THE ROWS HAVE BEEN REARRANGED SO THAT FOR EACH SUCCESSIVE FACTOR, LOADINGS GREATER THAN 0.5000 APPEAR FIRST. LOADINGS LESS THAN 0.2500 HAVE BEEN REPLACED BY ZERO.

ABSOLUTE VALUES OF CORRELATIONS IN SORTED AND SHADED FORM



THE ABSOLUTE VALUES OF THE MATRIX ENTRIES HAVE BEEN PRINTED ABOVE IN SHADED FORM ACCORDING TO THE FOLLOWING SCHEME

•	LESS THAN OR EQUAL TO	0.125
◊	0.125 TO AND INCLUDING	0.249
◌	0.249 TO AND INCLUDING	0.374
+	0.374 TO AND INCLUDING	0.499
x	0.499 TO AND INCLUDING	0.623
■	0.623 TO AND INCLUDING	0.748
■	0.748 TO AND INCLUDING	0.873
■	GREATER THAN	0.873

## FAKTOR-SKORE COEFFICIENTS

THE COEFFICIENTS ARE FOR THE STANDARDIZED VARIABLES,  
MEAN ZERO AND STANDARD DEVIATION ONE.

	FAKTOR 1	FAKTOR 2	FAKTOR 3	FAKTOR 4	FAKTOR 5
1	0.02051	0.00492	0.06111	-0.01624	-0.26228
2	0.01992*	0.00813	0.00426	-0.01216	-0.01963
3	0.00423	-0.00349	0.00290	0.02020	0.05165
4	0.00623	0.01796	-0.00985	-0.03267	0.02238
5	0.48671*	0.02780	-0.20575	0.02253	-0.62501
6	0.18400*	0.00191	-0.05559	-0.03091	0.04642
7	0.02527	-0.00295	0.02303	0.03389	-0.24553
8	0.10374	-0.22175	0.06711	0.95802	0.05651
9	0.05167	0.01791	0.01287	0.00281	0.45021
10	0.00775	0.00411	-0.06416	-0.02377	0.00131
11	0.00185	0.00326	0.06622	-0.00245	-0.01078
12	0.31294*	0.03758	0.18935	0.01396	0.48439
13	0.06744	-0.02030	-0.02202	-0.05318	0.08406
14	0.01158	0.00540	-0.01352	-0.00512	0.03624
15	0.00005	-0.00022	0.00004	0.00005	0.00009
16	0.12255	1.03097	0.07748	-0.11018	-0.17303

FACTOR SCORE COVARIANCE (COMPUTED FROM FACTOR  
STRUCTURE AND FACTOR SCORE COEFFICIENTS)

THE DIAGONAL OF THE MATRIX BELOW CONTAINS THE SQUARED  
MULTIPLE CORRELATIONS OF EACH FACTOR WITH THE VARIABLES.

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
FACTOR 1	0.970				
FACTOR 2	0.071	0.987			
FACTOR 3	-0.359	-0.198	0.924		
FACTOR 4	0.037	0.006	0.134	0.956	
FACTOR 5	-0.070	0.047	-0.052	0.148	0.837

CENTRO DE CALCULO

UNIVERSIDAD DE SEVILLA



PAGE 21 MAKWA LLUSETA-28  
ESTIMATED FACTOR SCORES AND MAHALANOBIS DISTANCES (CHI-SQUARE S) FROM  
EACH CASE TO THE CENTER OF ALL CASES FOR THE ORIGINAL DATA  
(-10 U.F.J. FACTOR SCORES (-5 U.F.) AND THEIR DIFFERENCE (11 U.F.)).  
EACH CHI-SQUARE HAS BEEN DIVIDED BY ITS DEGREES OF FREEDOM.

CASE	CHISQ/DF	CHISQ/DF	CHISQ/DF	FACTOR	FACTOR	FACTOR	FACTOR	FACTOR
LABEL	10	5	11	1	2	3	4	5
1	1.245	1.526	1.114	1.295	-1.115	0.067	0.695	-1.849
2	1.282	2.284	0.827	-0.725	-0.324	2.066	2.211	-1.301
3	1.127	0.761	1.294	-0.098	0.470	0.520	-0.343	1.440
4	1.089	0.812	2.087	-0.994	0.562	1.565	0.886	0.255
5	1.061	1.403	0.905	0.257	-0.924	1.613	-0.177	1.112
6	0.923	0.982	0.988	0.024	1.179	-0.059	-0.551	0.290
7	1.077	1.954	0.688	-0.075	-0.053	-0.867	2.453	1.518
8	1.088	1.190	1.915	-1.394	0.441	-1.073	0.422	0.212
9	1.075	0.497	1.335	1.078	-0.591	0.246	-0.259	-0.683
10	0.862	0.605	0.979	-0.502	-0.331	-0.019	-0.002	1.338
11	1.010	0.775	1.118	0.558	-1.595	-0.374	-0.132	0.619
12	0.923	0.816	0.990	-1.203	0.299	-0.892	-0.124	-0.213
13	0.937	0.121	0.874	0.093	-0.362	-0.487	0.032	0.351
14	0.896	1.504	0.819	0.762	1.790	0.189	1.879	0.413
15	1.281	1.324	1.261	1.665	0.612	-1.708	-0.671	1.118
16	0.820	1.343	0.982	1.790	1.452	-1.936	-0.347	-0.094
17	0.917	0.545	1.080	0.458	1.205	0.556	0.237	0.320
18	1.240	0.874	1.415	-0.784	-0.950	-0.979	-0.043	-0.397
19	0.972	0.321	0.532	0.336	0.105	0.535	-0.474	0.441
20	0.638	0.975	0.484	1.488	-1.259	-0.673	-0.696	-0.899
21	0.382	0.517	0.321	0.111	-0.456	0.661	-0.482	-1.143
22	0.647	0.775	0.590	-0.444	-0.839	0.055	-1.655	-0.642
23	1.251	1.355	1.205	-1.208	-0.891	0.281	-1.930	-0.827
24	0.954	0.440	1.158	-0.356	-0.358	0.238	-1.244	-0.692
25	0.950	0.632	1.105	0.645	-1.028	0.778	-0.283	-1.159
26	0.964	0.637	1.115	-1.593	-0.142	0.016	-0.492	-0.072
27	0.418	0.535	0.365	-1.004	-1.127	-0.484	0.259	0.271
28	0.986	1.466	0.768	1.705	-0.901	-1.561	0.501	-1.024
29	1.197	1.658	0.987	-0.154	-2.337	0.758	0.331	1.295

CENTRO DE CALCULO

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

FACTOR SCORE COVARIANCE (COMPUTED FROM FACTOR SCORES)

	FACTOR 1	FACTOR 2	FACTOR 3	FACTOR 4	FACTOR 5
FACTOR 1	0.975				
FACTOR 2	0.071	0.987			
FACTOR 3	-0.359	-0.148	0.924		
FACTOR 4	0.057	-0.004	0.134	0.956	
FACTOR 5	-0.070	0.047	-0.052	0.148	0.837

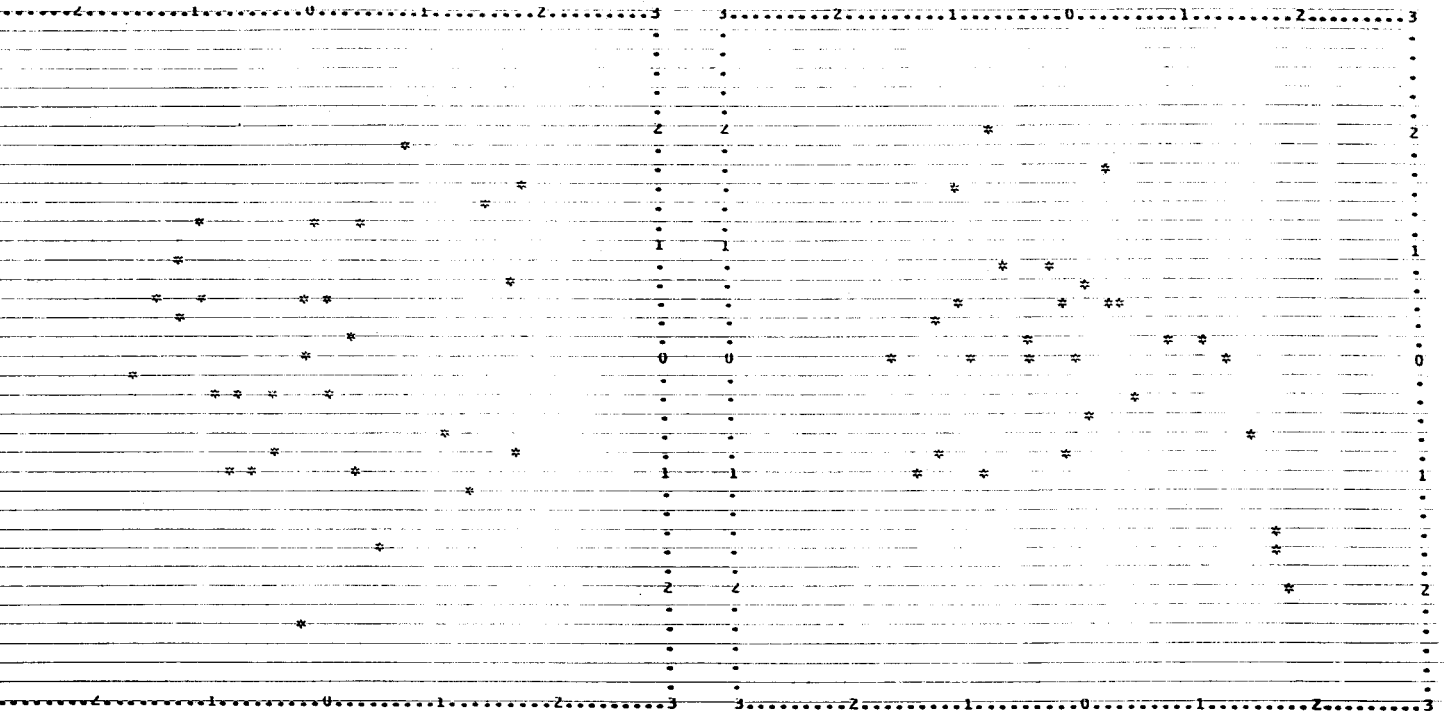
CENTRO DE CALCULO

UNIVERSIDAD DE SEVILLA

FACTOR SCORES

X-AXIS IS FACTOR 1, Y-AXIS IS FACTOR 2

X-AXIS IS FACTOR 1, Y-AXIS IS FACTOR 3

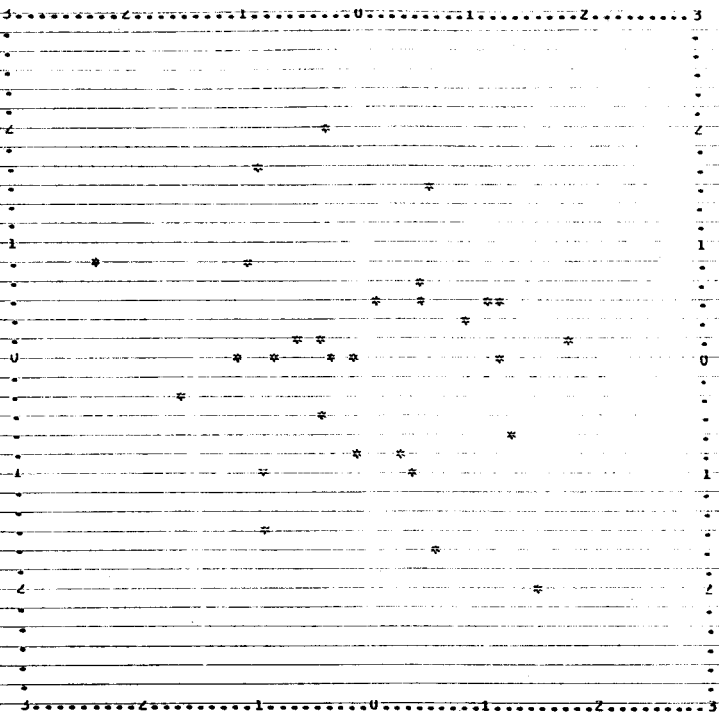


\* IS INDICATED BY A DOLLAR SIGN. SCALE IS FROM -3 TO +3.  
 \* SCORES GREATER THAN 3 ARE PLOTTED AS 3.  
 \* SCORES LESS THAN -3 ARE PLOTTED AS -3.

DE 24 MARGA LLUSETIA-28

FACTOR SCORES

X-AXIS IS FACTOR 2, Y-AXIS IS FACTOR 3



OVERLAP IS INDICATED BY A DOLLAR SIGN. SCALE IS FROM -3 TO +3.  
 FACTOR SCORES GREATER THAN 3 ARE PLOTTED AS 3.  
 FACTOR SCORES LESS THAN -3 ARE PLOTTED AS -3.  
 CPU TIME USED 44.030 SECONDS

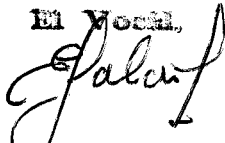
# UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Reunido el Tribunal integrado por los abajo firmantes en el día de la fecha, para juzgar la Tesis Doctoral de D. Unifred Vargas Muñoz

titulada Influencia de la Compulsión, Tercera Cédula y Mecanismos de compensación de variaciones en las propiedades mecánicas de la lantana compuesta acordó otorgarle la calificación de APTO CUM LAUDE

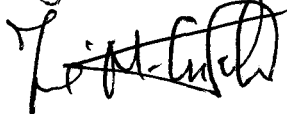
Sevilla, 12 de Julio 1987

El Vocal,




El Presidente

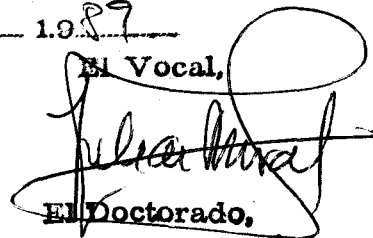
El Vocal,



El Secretario,



El Vocal,



El Doctorado,

