

**PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS
CEMENTOS PORTLAND NACIONALES**

**Análisis de los resultados obtenidos en ensayos
realizados en el LEMIT durante los años 1965 a 1969**

**Ing. J. F. Colina
Ing. M. Wainsztein
Ing. O. R. Batic**

Serie II, nº 155

INTRODUCCION

El avance en el conocimiento de las propiedades de los cementos portland y la necesidad de la evaluación de sus características para aplicarlos correctamente en la ejecución de estructuras de hormigón de diversas naturalezas, había superado indudablemente las técnicas de ensayo que para el juzgamiento de la calidad de los cementos destinados a obras públicas nacionales fueron establecidas por Decreto del 27 de abril de 1931, a pesar de las modificaciones introducidas en años posteriores.

Estas circunstancias, se venían observando en la bibliografía especializada a través de la evolución permanente de los métodos seguidos para valorar esas características y de las modificaciones de los límites recomendados para su aceptación o aprobación.

El empleo de nuevas técnicas, como la determinación de superficie específica para valorar la finura, el amasado mecánico de pastas y morteros para eliminar influencias subjetivas, el empleo de arenas normales bien graduadas que redujeran la influencia de la forma y textura superficial de sus partículas sobre los resultados de los ensayos mecánicos, nuevos métodos para la realización de estos ensayos, la necesidad de determinar los constituyentes del clinker como medio de preveer el probable comportamiento del hormigón en estructuras sometidas a la agresión de aguas o suelos sulfatados, el desarrollo de calor durante el fraguado y endurecimiento del hormigón o la posibilidad de reacción de sus óxidos alcalinos con ciertas formas alotrópicas de la sílice fueron otros tantos avances del conocimiento cuya incorporación a las normas vigentes se hacía impostergable.

La Comisión de Cementos en IRAM encaró ese estudio y a partir del mes de abril de 1960 se comenzaron a normalizar los métodos de ensayo para concluir con la prepara-

ción de las especificaciones para cemento portland normal, IRAM 1 503, de alta resistencia inicial, IRAM 1 646, portland puzolánico, IRAM 1 651 y portland de escoria de alto horno, IRAM 1 636. A la fecha las dos primeras han sido aprobadas y en el caso particular del M.O.P. de la Provincia de Buenos Aires, por Resolución nº 1 622 del 9 de octubre de 1967, son aplicadas para el juzgamiento de calidad de los cementos portland utilizados en obras públicas provinciales. Las dos restantes se hallan en el período final de estudio y la realización de este Congreso coincide con el término del período de discusión pública para la de cemento puzolánico.

La disponibilidad de nuevos métodos de ensayo trajo como primera consecuencia la necesidad de efectuar un estudio exhaustivo sobre los cementos nacionales, para la correcta evaluación de su calidad y la fijación de los valores límites en las especificaciones. En el LEMIT además se intensificó este estudio, especialmente con los cementos producidos en las 5 fábricas instaladas en el territorio bonaerense, para disponer de la información técnica básica que permitiera fundamentar ante el P.E. provincial la adopción de estos métodos y especificaciones. Finalmente, a partir de la aprobación de la resolución mencionada todas las muestras que llegan al Laboratorio son controladas en estas condiciones.

En este informe presentaremos los resultados obtenidos sobre 140 muestras ensayadas entre el 1º de enero de 1965 y el 31 de agosto ppdo. Todas estas muestras llegaron al Laboratorio en condiciones tales que su identificación está suficientemente asegurada en cuanto a marca y procedencia. Un número similar de muestras, ensayadas en el mismo período, ha sido descartado por no tenerse suficientes garantías al respecto.

De estas muestras 120 corresponden a cementos portland normales fabricados en las 15 fábricas en producción en el país, 10 son de cementos de alta resistencia inicial provenientes de dos plantas distintas y 9 de cementos puzolánicos también de dos procedencias.

Los resultados de los ensayos han sido volcados en 10 gráficos y relacionados con los límites especificados en norma IRAM 1 503. En estos gráficos, cada marca, fábrica y

tipo de cemento está identificado con una letra. Los puntos representados corresponden a los valores individuales de cada muestra y son el promedio del número de determinaciones que las normas especifican en cada caso.

En los gráficos se aprecia que de algunas marcas y procedencias se dispone de ensayos en un número mucho mayor de muestras, ello está íntimamente vinculado con la labor específica del LEMIT de controlar la calidad de los materiales utilizados en la construcción de obras públicas provinciales.

RESULTADOS OBTENIDOS

En la Tabla I figuran todas las marcas y fábricas de procedencia de las muestras de cementos utilizados en este estudio.

En los n^os. 2, 3 y 4 se han transcripto los límites especificados, para los requisitos químicos, físicos y mecánicos, por las normas IRAM 1 503, 1 646 y 1651 para cementos portland normal, de alta resistencia inicial y puzolánico, respectivamente.

Con los porcentajes de material retenido sobre el tamiz IRAM 74 μ (n^o 200), se ha confeccionado el Gráfico n^o 1. La línea discontinua corresponde al límite especificado de 15 % como máximo para los tres tipos de cementos. Se observa que la mayoría de las muestras satisfacen esta exigencia pero creemos necesario hacer notar una circunstancia muy especial: las que no la cumplen han sido ensayadas principalmente en los últimos meses. Esto parecería indicar que la industria, frente a la intensificación de la demanda, ha modificado las condiciones de molienda para aumentar su producción.

Los valores de superficie específica, en cambio, determinados con el permeabilímetro de Blaine, en todos los casos han superado los límites especificados de 2 500 cm²/g.

como valor medio y $2\ 250\ \text{cm}^2/\text{gr}$ como mínimo individual. Por esta circunstancia se ha prescindido de su representación.

En resumen se ha regulado el proceso de molienda de manera que la superficie específica sea suficientemente alta pero aumentando la cantidad de partículas de dimensión mayor que $74\ \mu$. Esto no parecería muy conveniente por cuanto en muchos tipos de estructuras es probable que el hormigón no tenga humedad un tiempo suficientemente prolongado como para que estas partículas se hidraten totalmente.

Los resultados del ensayo de estabilidad volumétrica, medida por la expansión en autoclave, fueron representados en el Gráfico n° 2. Se aprecia que todas las muestras cumplen con amplitud el límite máximo especificado de 1 %.

Esto asegura el cumplimiento de este requisito por todos los cementos nacionales, aún teniendo en cuenta que las nuevas especificaciones han rebajado a 1 % el límite que en el Pliego Nacional vigente es de 1,3 %.

Todas las muestras ensayadas satisfacen también con holgura los límites fijados para la iniciación y el final del fraguado, 45 minutos y 10 horas, respectivamente. Las modificaciones introducidas a las técnicas de ensayo tanto para la preparación de la pasta de consistencia normal (IRAM 1 612) como para la determinación del tiempo de fraguado (IRAM 1 619) no han afectado el cumplimiento de este requisito.

En el Gráfico n° 3 se muestran los resultados de los ensayos de flexión a las edades de 7 y 28 días, correspondientes a los cementos normales y puzolánicos. Las líneas de trazos marcan los valores límites de la especificación. Resulta que en muchos casos el límite especificado para la edad de 28 días ya queda satisfecho a los 7 días. Los cementos de alta resistencia inicial, cuyos resultados no se representaron, en todas las muestras ensayadas están muy por encima de los límites fijados y que figuran en la Tabla III.

Las resistencias a compresión de los cementos portland normales y puzolánicos están representados en el Gráfico n° 4. Se observa que para esta resistencia numerosos puntos están cerca del límite fijado, especialmente para la

edad de 7 días, si bien la totalidad de las muestras cumple la especificación.

Como ya se dijo antes, cada punto representado en estos gráficos corresponde al promedio de los valores medidos en las probetas ensayadas, pero creemos necesario hacer notar que la dispersión de valores individuales que configuran ese promedio es mucho menor en el ensayo de flexión que en el de compresión.

Tenemos entendido que similar observación ha sido hecha también en otros laboratorios.

Considerando que era conveniente tener resultados de ensayos a edades superiores a las especificadas en las normas, se efectuaron también determinaciones a 60 y 90 días lo que permitió trazar las curvas de variación de las resistencias a flexión y compresión, en función de la edad, que figuran en los Gráficos n°s. 5 y 6. Las curvas trazadas para los cementos normales ponen de manifiesto que el crecimiento de resistencia a partir de los 28 días es sensiblemente menor y que en algunos casos las resistencias disminuyen con la edad. De confirmarse esta última circunstancia, con mayor número de muestras, entendemos que sería necesario investigar sus posibles causas. Para los cementos de alta resistencia inicial y puzolánico el crecimiento de resistencia ha sido continuo y apreciable para las mayores edades.

Se observa también que los cementos cuyo desarrollo de resistencia en los primeros días es muy lento son los que hasta la edad de 90 días continuaron incrementándola en forma considerable.

Se aclara que las curvas trazadas no corresponden al promedio de la marca o procedencia identificada con la letra correspondiente sino que pertenece a una sola muestra representativa de la misma.

Con el objeto de hacer un somero análisis estadístico de los valores disponibles, en los Gráficos n°s. 7 y 8 se han presentado los histogramas y trazado la curva normal con los resultados correspondientes a los ensayos de flexión y compresión a la edad de 28 días. En el primero se observa

que la distribución de frecuencias se aproxima bastante a la curva normal mientras que en el segundo los apartamientos son muy considerables, lo que se refleja también en los valores del coeficiente de variación (δ). Esta falta de concordancia podría atribuirse en principio a la sensible diferencia, que en este ensayo, muestran entre sí las distintas marcas de cementos estudiados. Para corroborarlo habría que hacer un estudio similar por marca y, desde luego, con un número de ensayos mayor del que ahora se difunde para cualquiera de ellas.

Complementando los ensayos físicos y mecánicos y a los efectos de verificar el cumplimiento de la norma desde este punto de vista las muestras fueron además analizadas químicamente. Un comentario resumido sobre sus resultados podría sintetizarse así:

Cemento portland normal:

- a) Residuo insoluble: 9 muestras de 6 marcas distintas acusaron valores superiores al límite especificado de 1 %. El mayor valor obtenido fue de 2,1 %.
- b) Pérdida por calcinación: 11 muestras pertenecientes a 7 marcas superaron el 3 %. El máximo valor determinado fue de 4 %.
- c) Anhídrido sulfúrico: una sola muestra excedió en 0,28 el límite especificado de 2,5 %.
- d) Oxido de magnesio: todas las muestras analizadas están por debajo del límite fijado, 5 %.

Cemento portland de alta resistencia inicial:

Las 10 muestras analizadas cumplieron la especificación en todas sus partes.

Cemento portland puzolánico:

Las 9 muestras estudiadas cumplen los requisitos químicos propuestos en la norma IRAM 1 651 excepto en lo relativo al coeficiente puzolánico que ninguna muestra lo satisface a la edad de 7 días y sólo 4 lo hacen a 28 días. Esto indicaría que las puzolanas utilizadas, en general, no tie-

nen un alto poder de fijación del óxido de calcio lo que, en consecuencia, incidirá sobre las propiedades finales de los hormigones, especialmente en cuanto a su resistencia frente a acciones agresivas por ataque de sulfatos. Por ello, cuando se requiere en particular esta resistencia, será necesario que el usuario solicite expresamente que el cemento puzolánico debe cumplir además de la norma IRAM 1 651 la 1 669 como requisito opcional.

Además de los requisitos normalizados que acabamos de comentar y considerando la importancia que esto tiene en la elección del cemento para una determinada obra, de todas las muestras que se tenía el análisis químico completo se calculó el contenido total de álcalis, expresado en óxido de sodio, y sus constituyentes potenciales, silicatos di y tri cálcico y aluminato tricálcico, empleando las fórmulas de la norma IRAM 1 504.

En el Gráfico nº 9 están representados los puntos correspondientes al contenido total de álcalis de 84 muestras analizadas. Se aprecia que la mayor parte de ellas, 51, se encuentran sobre la línea correspondiente al contenido que se considera límite para que el cemento sea potencialmente reactivo si se emplea con áridos que contienen sustancias deletéreas y que solamente en 4 fábricas se producen cementos tales que todas las muestras estuvieron por debajo de ese valor.

Con referencia a los contenidos de silicatos di y tri cálcico los resultados muestran que para los cementos normales varían entre los siguientes límites:

Silicato dicálcico (SC ₂)	máximo:	49,4 %
	mínimo:	5,2 %
Silicato tricálcico (SC ₃)	máximo:	68,3 %
	mínimo:	16,7 %

y que para muestras de una misma marcas esa variación estuvo entre:

Silicato dicálcico (SC ₂)	máximo:	35,3 %
	mínimo:	10,1 %
Silicato tricálcico (SC ₃)	máximo:	68,3 %
	mínimo:	37,4 %

lo que explicaría las variaciones de resistencia apreciadas en los Gráficos n°s. 3 y 4.

El Gráfico n° 10 hace resaltar que la mayor parte de las muestras analizadas tienen contenidos de aluminato tricálcico mayores que el 8 %, valor que la norma ASTM C-150 fija como límite para que un cemento pueda considerarse de moderada resistencia a los sulfatos y moderado calor de hidratación. También se aprecia las importantes variaciones que presenta el contenido de este constituyente.

Finalmente sobre 6 muestras de cementos normales y 5 de cementos puzolánicos procedentes de la misma fábrica se determinó el calor de hidratación a las edades de 7 y 28 días utilizando las técnicas de las normas IRAM 1 617 y 1 665, respectivamente. Los promedios de los resultados obtenidos fueron los siguientes:

	<u>7 días</u>	<u>28 días</u>
Cemento portland normal	66,3	80,3
Cemento portland puzolánico	53,6	63,0

CONCLUSIONES

a) Los resultados presentados muestran que los cementos nacionales cumplen con mayor o menor amplitud los requisitos exigidos por las normas. El pequeño número de excepciones observadas podrían atribuirse en algunos casos al prolongado o defectuoso estacionamiento del material y en otros a esas variaciones imposibles de evitar en una industria que maneja diariamente centenares o miles de toneladas de materiales, tan heterogéneos. En cuanto al retenido sobre tamiz IRAM 74 μ (n° 200) se ha observado que en los últimos meses ha habido varias muestras que sobrepasan el límite especificado en las normas, ello indicaría que la industria ha modificado las condiciones de molienda.

b) Se considera necesario hacer notar que dada la notable influencia que las variaciones de calidad de los cementos tienen sobre la resistencia del hormigón habría que pedirle a la industria productora extreme los controles para disminuir en lo posible las dispersiones señaladas y a los usuarios recordarles la conveniencia de hacer determinar periódicamente por laboratorios especializados las características de los cementos que utilizan.

c) Finalmente la circunstancia de que la mayor parte de nuestros cementos tengan elevado contenido de óxidos alcalinos y de aluminato tricálcico parecería sugerir la conveniencia de producir tipos especiales que puedan emplearse en obras donde están sometidos a condiciones desfavorables o de ir paulatinamente hacia una tipificación de los cementos portland producidos en el país. Por otra parte la aparición en plaza de cementos de características especiales parecería indicar que ya la industria ha comenzado a orientarse en esa dirección.

AGRADECIMIENTO: Al personal de las Secciones Ligantes Aéreos e Hidráulicos, Química Analítica General y Dibujo y Proyecto que ha tenido a su cargo la realización de todos los ensayos y análisis y la preparación de los gráficos que presentamos.

TABLA I

MARCAS DE CEMENTO QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO

Avellaneda (Común)

Corceemar (Pipinas)

Corceemar (Córdoba km 7)

Corceemar (Córdoba, Yocsina)

Corceemar (Mendoza)

Comodoro (Común)

Hércules (Córdoba)

Hércules (Mendoza)

Hércules Puzolánico (Mendoza)

Hércules (Salta)

Loma Negra (Barker)

Loma Negra Super (Barker)

Loma Negra (Olavarría)

Loma Negra Puzolánico (Olavarría)

Loma Negra (San Juan)

Loma Negra Super (San Juan)

Loma Negra (Santiago del Estero)

San Martín (Olavarría)

San Martín (Paraná)

TABLA II

CEMENTO PORTLAND NORMAL

Norma IRAM 1 503

Requisitos físicos		Mínimo	Máximo
Finura	Material retenido sobre tamiz IRAM 74 μ (n° 200)	---	15 %
	Superficie específica.	Promedio 2 500 cm^2/g Individual 2 250 cm^2/g	---
Constancia de volumen	Ensayo de expansión en autoclave	---	1,0 %
Tiempo de fraguado	inicial	45 min	---
	final	---	10 h
Resistencia a la flexión	a los 7 días	35 kg/cm^2	---
	a los 28 días (°)	55 kg/cm^2	---
Resistencia a la compresión	a los 7 días	170 kg/cm^2	---
	a los 28 días (°)	300 kg/cm^2	---

(°) En todos los casos los valores de resistencia obtenidos a los 28 días deberán ser mayores que los obtenidos a los 7 días.

Requisitos químicos	Mínimo	Máximo
Residuo insoluble	---	1 %
Anhídrido sulfúrico	---	2,5 %
Oxido de magnesio	---	5 %
Pérdida por calcinación	---	3 %

TABLA III

CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA INICIAL

Norma IRAM 1 646

Requisitos físicos		Mínimo	Máximo
Finura	Material retenido sobre el tamiz IRAM 74 μ (200)	---	15 %
	Superficie específica	Promedio 4 000 cm^2/g Individual 3 700 cm^2/g	---
Constancia de volumen	Ensayo de expansión en autoclave	---	1 %
Tiempo de fraguado	inicial	45 min	---
	final	---	10 h
Resistencia a la flexión	a 1 día	22 kg/cm^2	---
	a los 2 días	40 kg/cm^2	---
	a los 3 días	50 kg/cm^2	---
	a los 7 días	65 kg/cm^2	---
	a los 28 días	75 kg/cm^2	---
Resistencia a la compresión	a 1 día	100 kg/cm^2	---
	a los 2 días	200 kg/cm^2	---
	a los 3 días	270 kg/cm^2	---
	a los 7 días	400 kg/cm^2	---
	a los 28 días	500 kg/cm^2	---

Requisitos químicos	Mínimo	Máximo
Residuo insoluble	---	1 %
Anhídrido sulfúrico	---	3 %
Oxido de magnesio	---	5 %
Pérdida por calcinación	---	3 %

TABLA IV

CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO

Esquema 1 de Norma IRAM 1 651

(En discusión pública)

Requisitos físicos		Mínimo	Máximo
Finura	Material retenido sobre el tamiz IRAM 74 μ (n° 200)	---	15 %
	Superficie específica	Promedio 2 500 cm^2/g Individual 2 500 cm^2/g	---
Constancia de volumen	Ensayo de expansión en autoclave	---	1 %
Tiempo de fraguado	inicial	45 min	---
	final	---	10 h
Resistencia a la flexión	a los 7 días	35 kg/cm^2	---
	a los 28 días	55 kg/cm^2	---
Resistencia a la compresión	a los 7 días	170 kg/cm^2	---
	a los 28 días	300 kg/cm^2	---
Contracción por secado		---	0,15 %

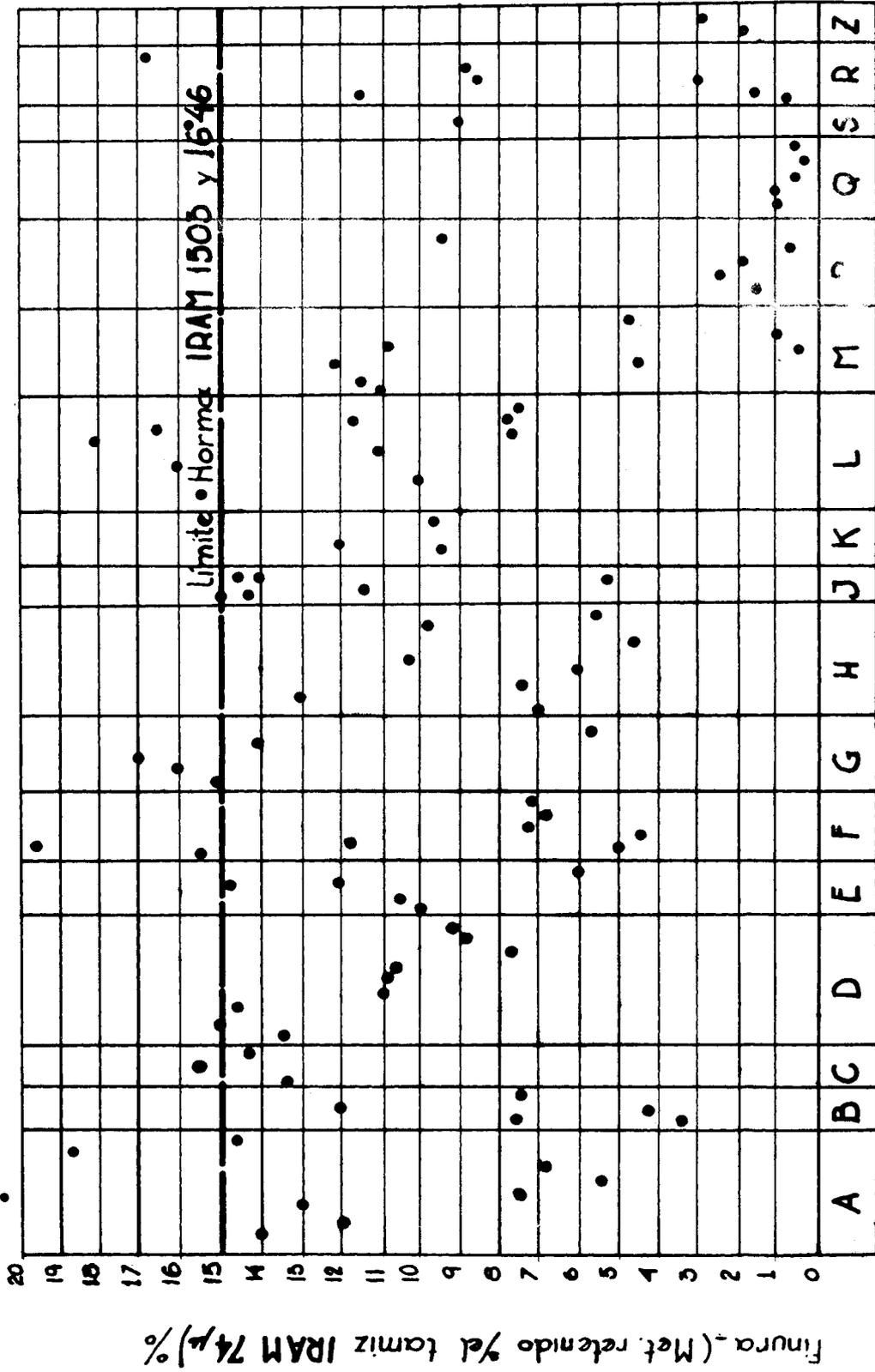
Requisitos químicos	Mínimo	Máximo
Anhídrido sulfúrico	---	3 %
Oxido de magnesio	---	5 %
Pérdida por calcinación	---	3 %
Coefficiente puzolánico	Mayor de 1	

Requisitos opcionales:

- a) Cuando se requiera resistencia a los sulfatos, el material deberá además cumplir con la norma IRAM 1 669
- b) Cuando se requiera bajo calor de hidratación, el material deberá además cumplir con la norma IRAM 1 670.
- c) Cuando se requiera inhibición de la reacción álcali-árido, el material deberá además cumplir con la norma IRAM 1 671.

LEMIT GRAFICON#1

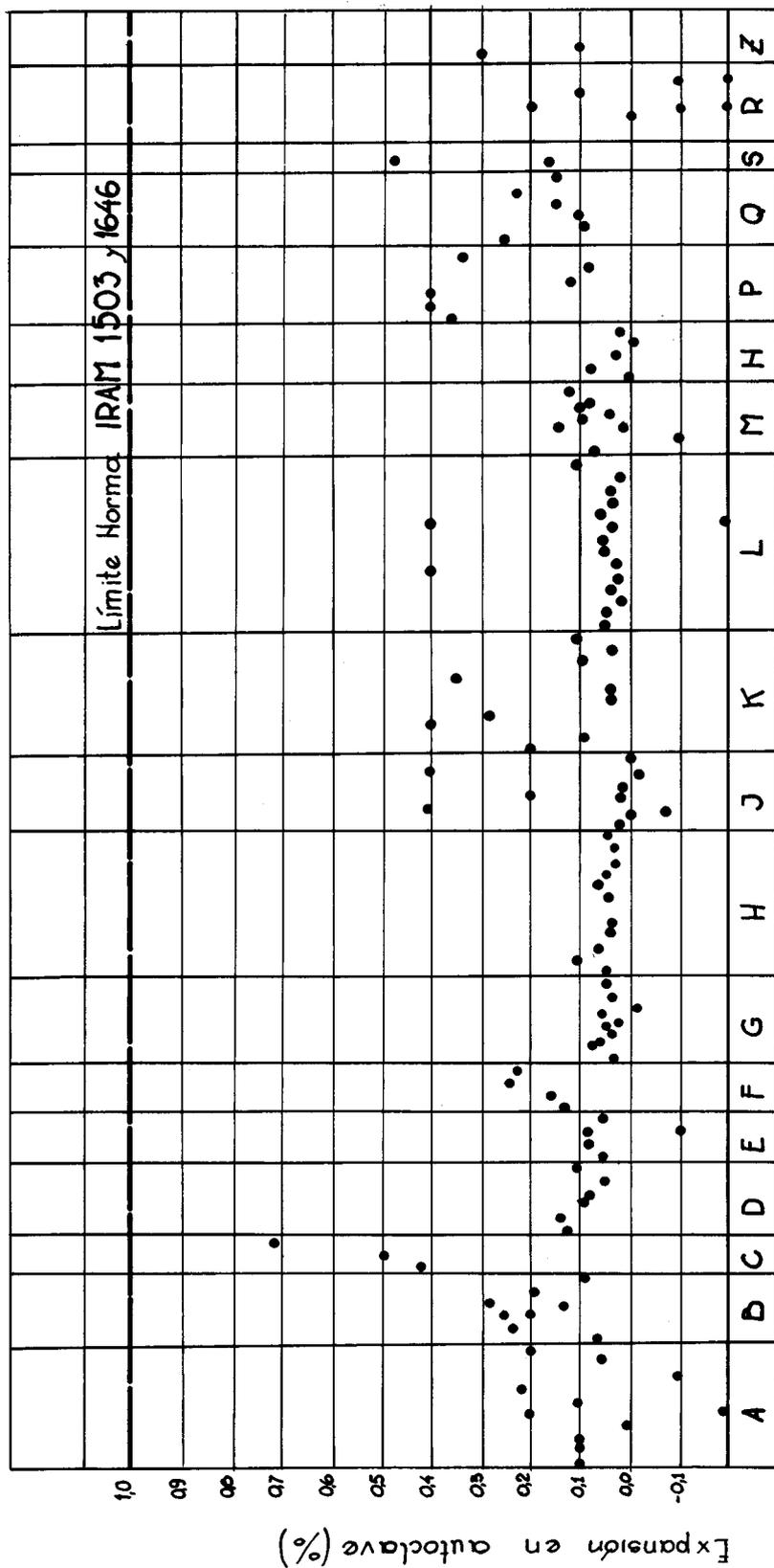
GEMENTO PORTLAND
FIHURA



MARCA

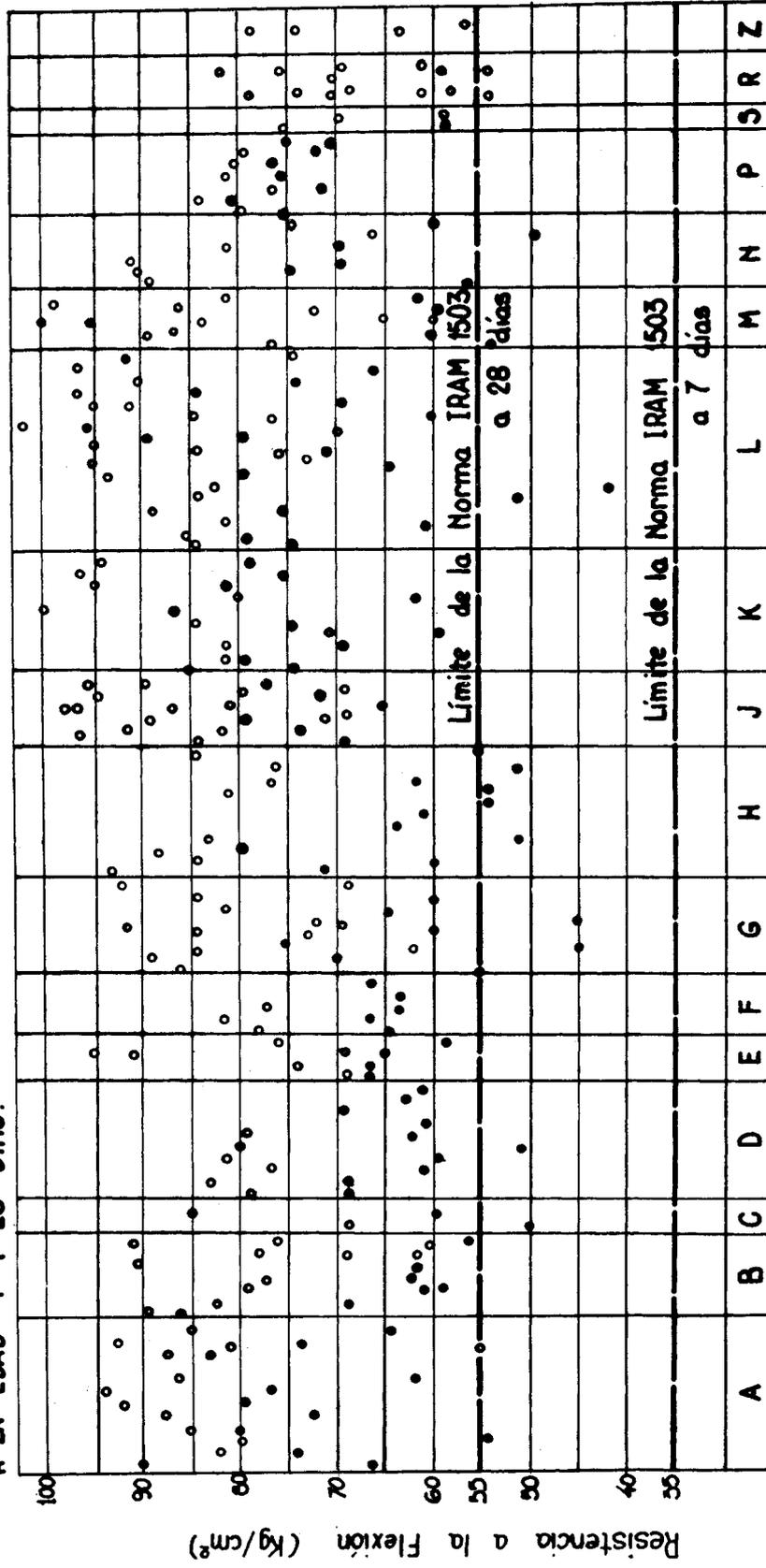
LEMIT
GRAFICO N°2

CEMENTO PORTLAND
CONSTANCIA DE VOLUMEN



LEMIT
GRAFICO N°3

CEMENTO PORTLAND NORMAL
RESISTENCIA A LA FLEXION
A LA EDAD 7 Y 28 DIAS.-

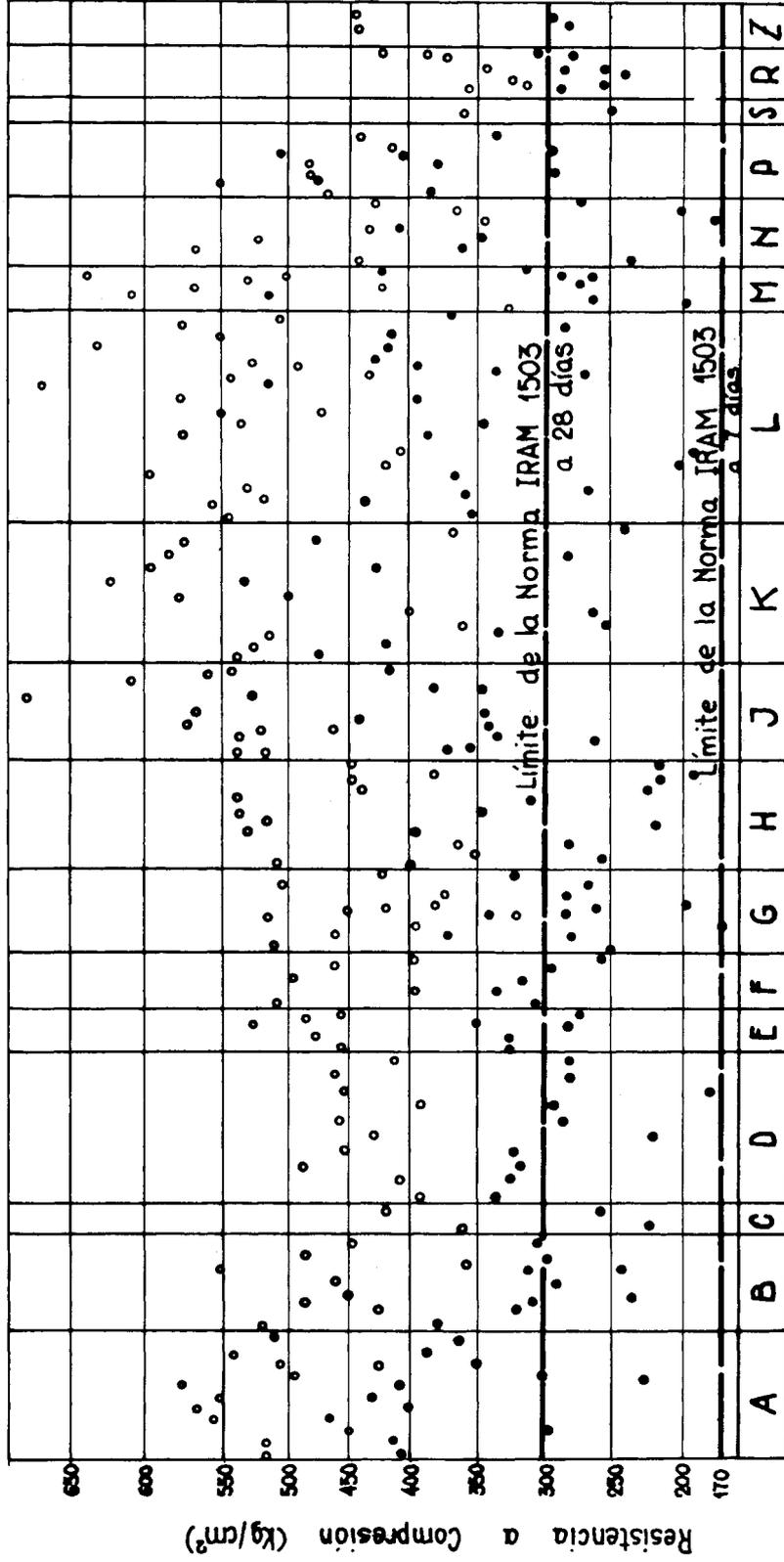


• Resistencia a 7 días
○ " " a 28 días

MARCA

**CEMENTO PORTLAND NORMAL
RESISTENCIA A LA COMPRESION
A LA EDAD DE 7 Y 28 DIAS**

**LEMIT
GRAFICO H:4**

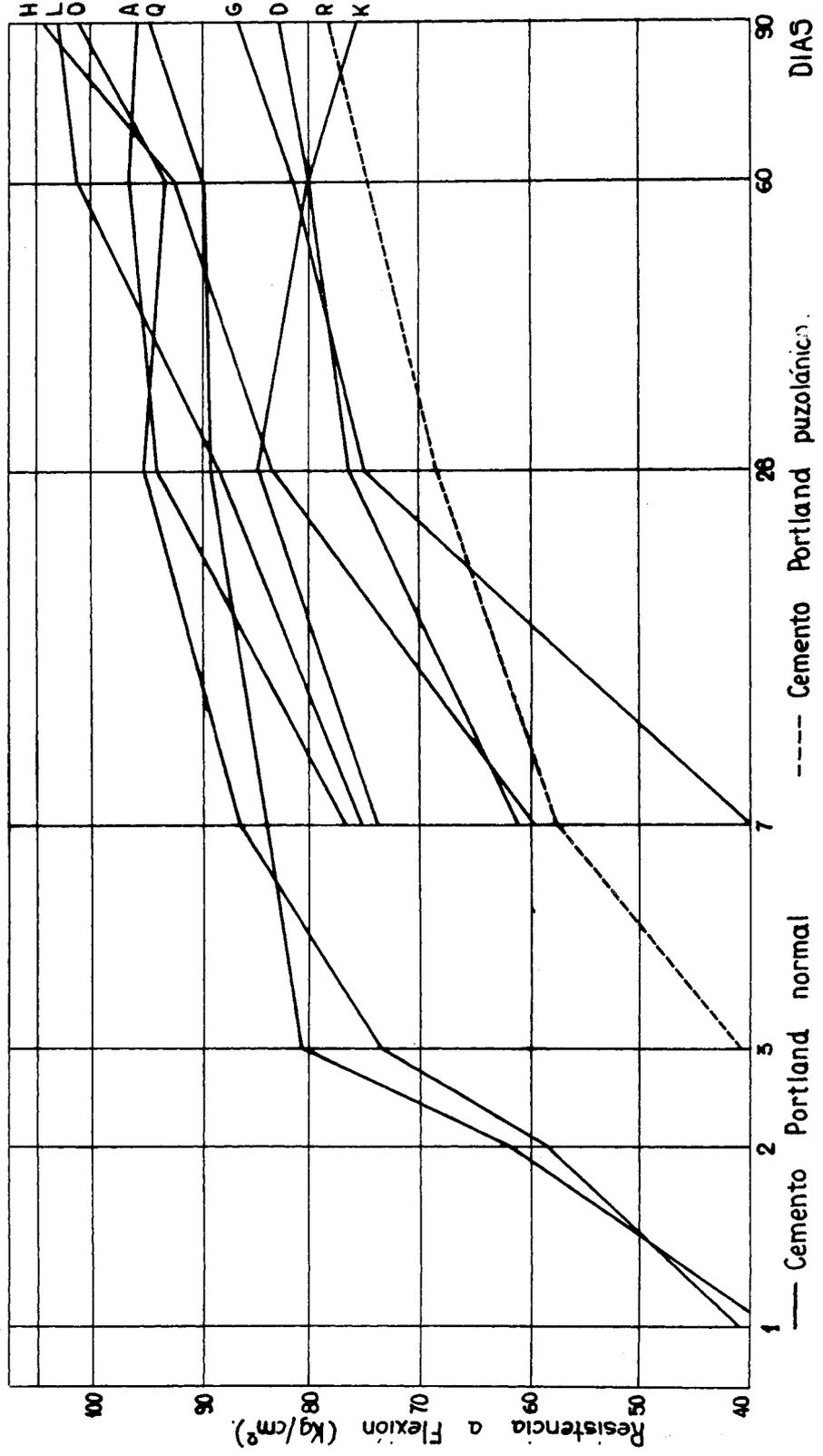


• Resistencia a 7 días
○ " " a 28 días

MARCA

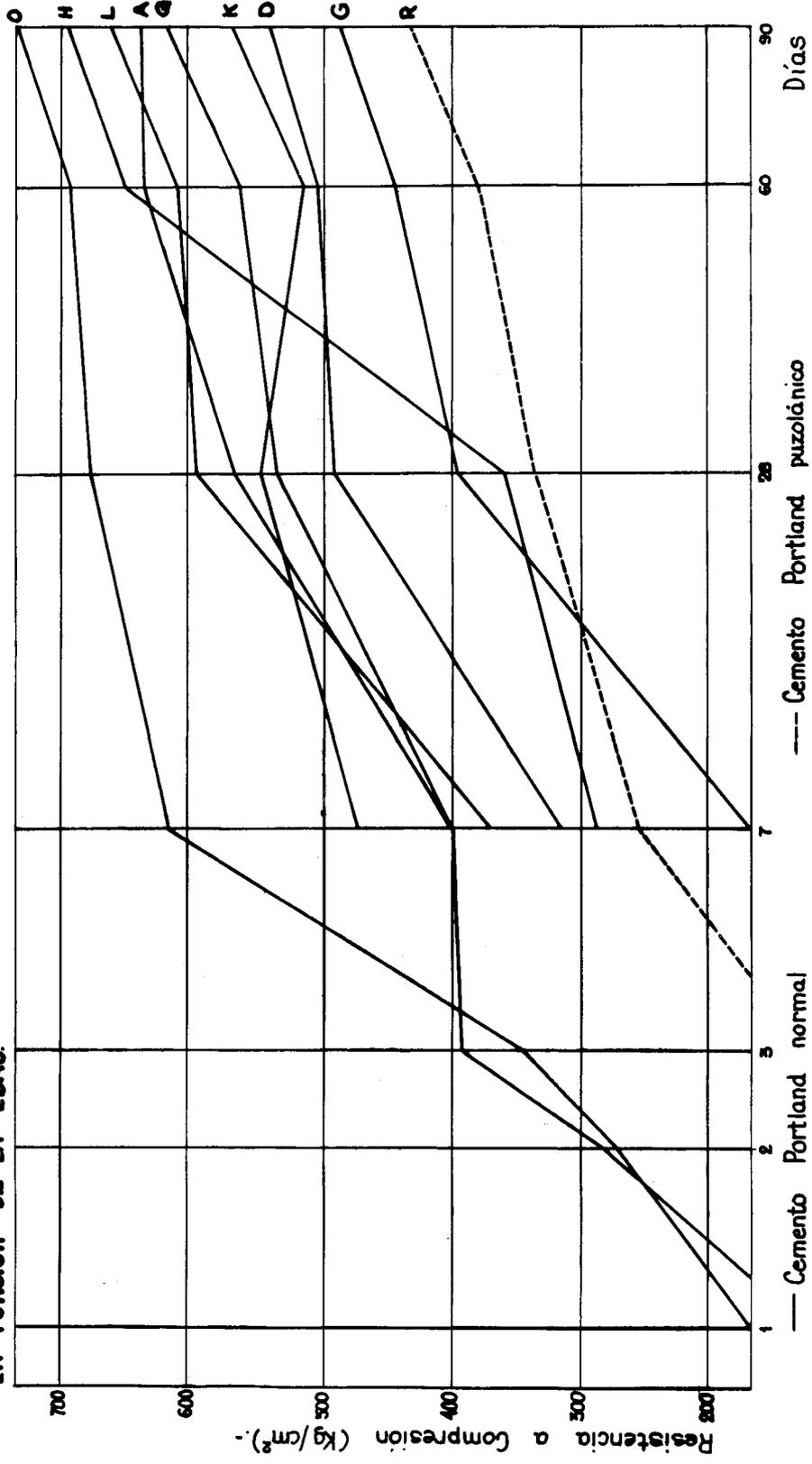
**CEMENTO PORTLAND
RESISTENCIA A FLEXIÓN EN FUNCIÓN
DE LA EDAD.-**

**LEMIT
GRAFICO N° 5**



**CEMENTO PORTLAND
RESISTENCIA A COMPRESIÓN
EN FUNCION DE LA EDAD.-**

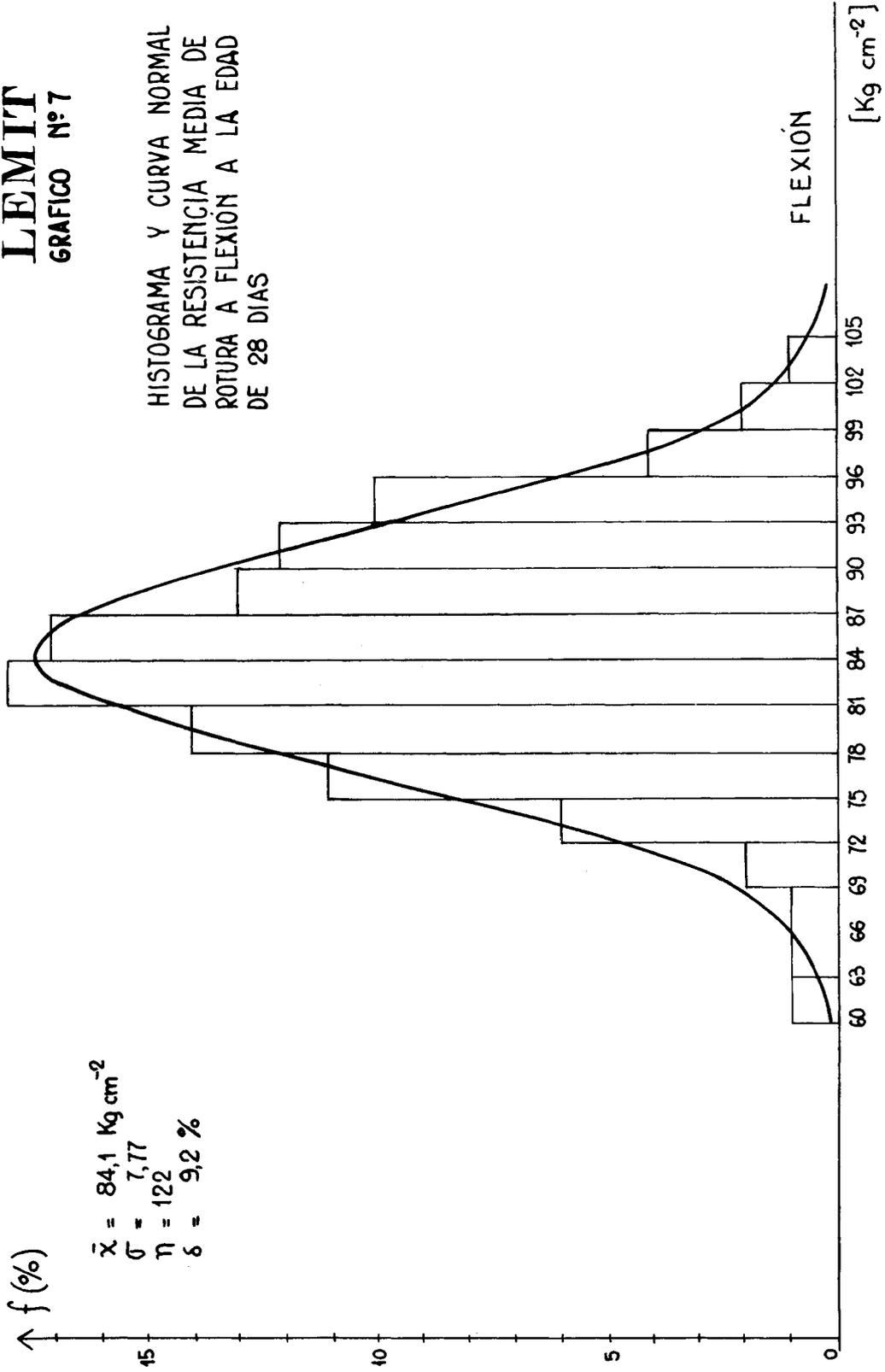
**LEMIT
GRAFICO N° 6**



LEMIT

GRAFICO Nº 7

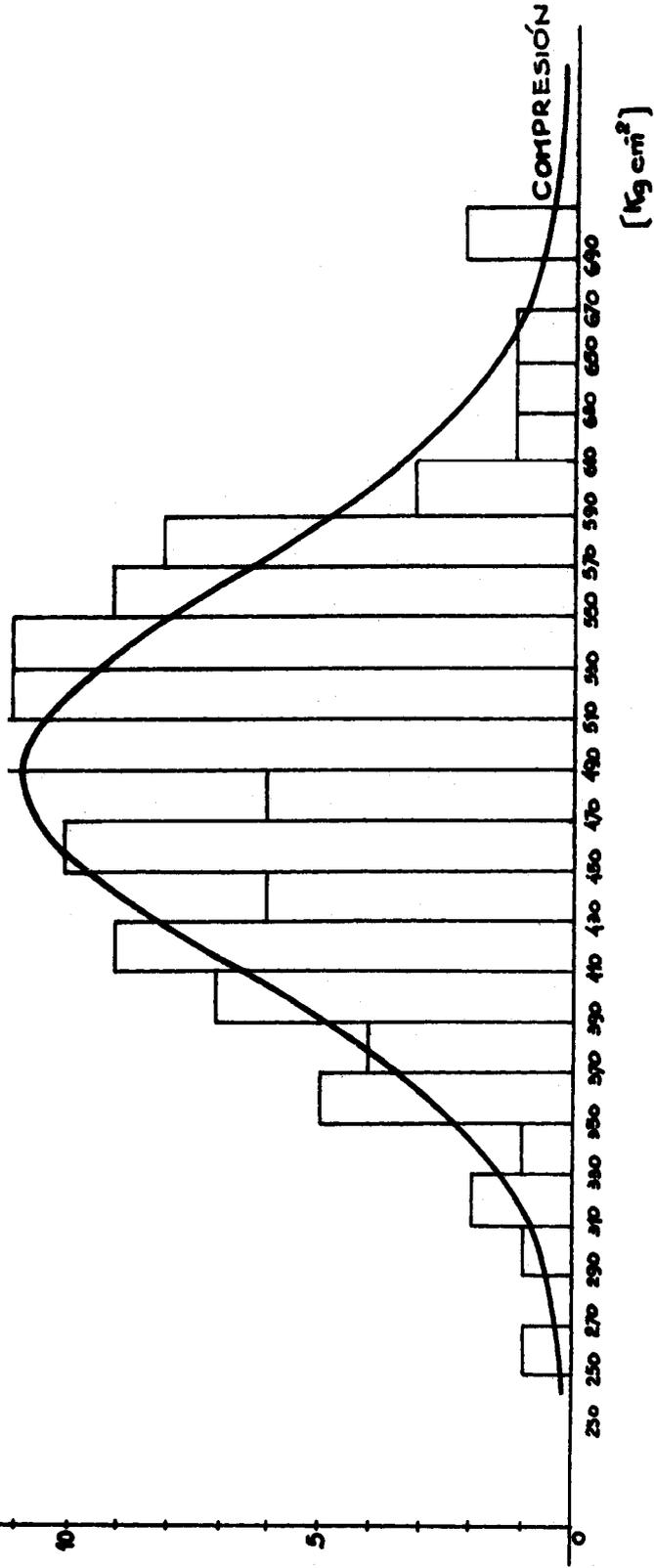
HISTOGRAMA Y CURVA NORMAL
DE LA RESISTENCIA MEDIA DE
ROTURA A FLEXIÓN A LA EDAD
DE 28 DIAS



LEMIT
GRAFICO N°8

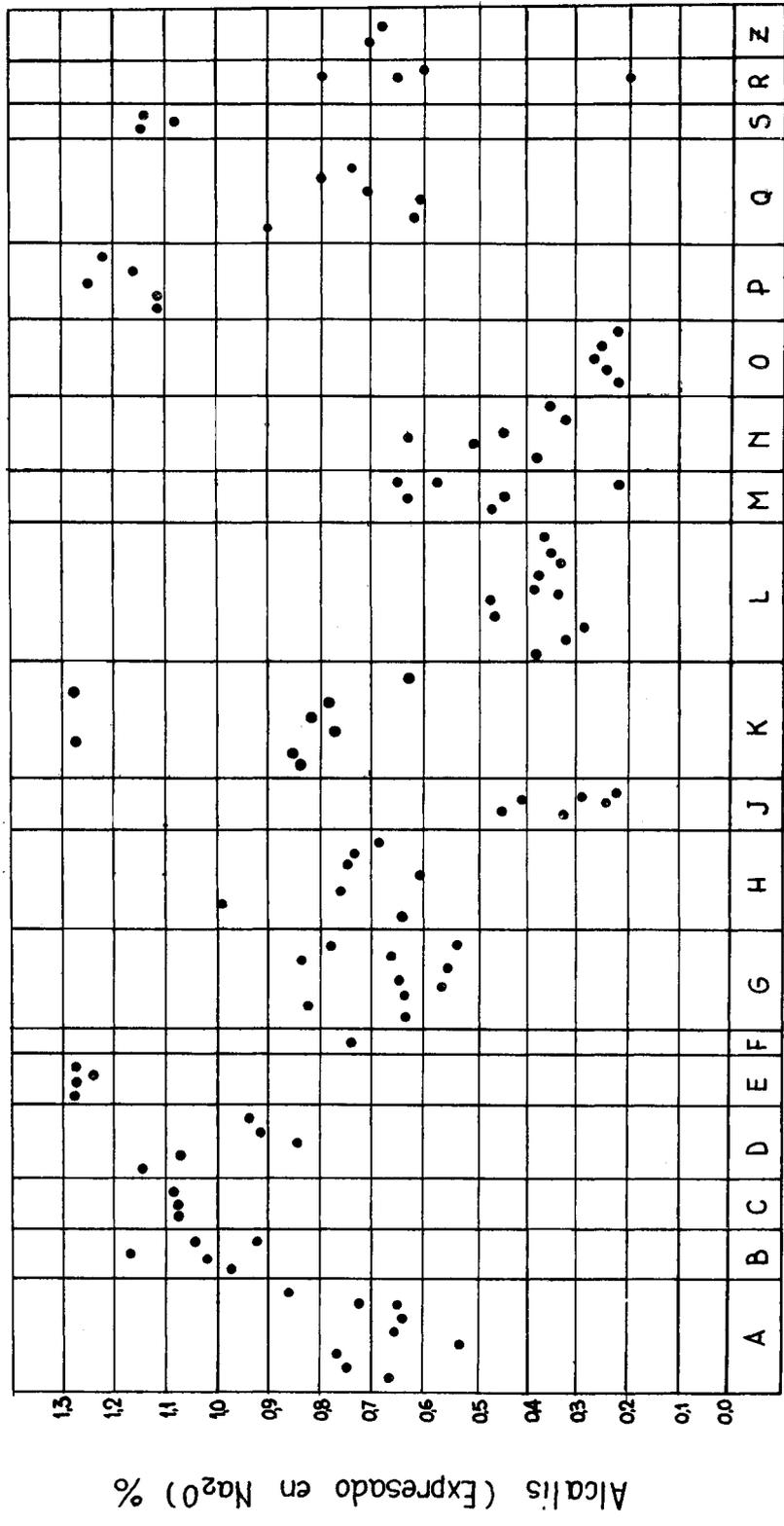
HISTOGRAMA Y CURVA NORMAL DE LA
 RESISTENCIA MEDIA DE ROTURA A
 COMPRESION A LA EDAD DE 28 DIAS

f (%)
 $\bar{x} = 488,2 \text{ Kg/cm}^2$
 $\sigma = 82,92$
 $\eta = 111$
 $\delta = 17,0\%$



LEMIT
GRAFICO N° 9

CEMENTO PORTLAND
CONTENIDO DE ÁLCALIS



MARCA

LEMIT
GRAFICO N:10

CEMENTO PORTLAND
CONTEHIDO DE ALUMINATO TRICALCICO [AC₃]
CALCULADO SEGUN NORMA IRAM 1504

