

RESISTENCIAS MECANICAS DEL HORMIGON: RELACIONES ENTRE RESISTENCIAS OBTENIDAS EN EL CONTROL DE UNA OBRA

Moisés PIÑEIRO*
Rodrigo MUÑOZ**

RESUMEN

Los resultados de los ensayos del gran número de muestras tomadas en el Paso Inferior Santa Lucía se utilizaron para estudiar relaciones entre las resistencias de esos hormigones y adicionalmente compararlas con datos obtenidos en condiciones de laboratorio tanto en Chile como en el extranjero.

Entre las relaciones más destacadas que se analizan pueden citarse la relación entre resistencias a compresión a 7 y a 28 días, la relación entre resistencia de compresión y la de flexotracción, y la existente entre la resistencia a compresión, en probeta cúbica, y la obtenida en el "cubo modificado". En general los resultados obtenidos del análisis son bastante consistentes y quedan respaldados por una abundante cantidad de datos.

Se discuten los principales resultados obtenidos y se analiza su alcance práctico.

INTRODUCCION

En este artículo se presentan y discuten los resultados obtenidos en el control de los hormigones de la obra Paso Inferior Santa Lucía, ejecutada en Santiago en el primer semestre de 1970. Estos resultados integrados a otros obtenidos en el

*Ingeniero Civil. Jefe de la Sección Investigación de Hormigones del IDIEM. Profesor de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.

**Investigador IDIEM.

IDIEM, en investigaciones hechas hace algún tiempo, pueden constituir una información de utilidad para los constructores y profesionales encargados del control de las obras.

Los resultados de ensayos obtenidos en el control de esta obra incluyen determinación de resistencias a compresión y flexotracción a distintas edades: a compresión a 3, 7 y 28 días; a flexotracción a 7 y 28 días, además de resultados obtenidos a compresión en el llamado "cubo modificado", a 28 días. Esto ha permitido elaborar una serie de relaciones entre estas resistencias, que se presentarán y discutirán en el presente artículo.

La obra Paso Inferior Santa Lucía fue la primera en su tipo, en Chile; es una intersección de calzadas a diferentes niveles proyectada para mejorar las condiciones de cruce de vías con gran recargo de tránsito, que consideró además de las exigencias funcionales varias otras de índole arquitectónica y urbanística, Fig. 1. Este paso a nivel está ubicado en pleno centro de la ciudad de Santiago y

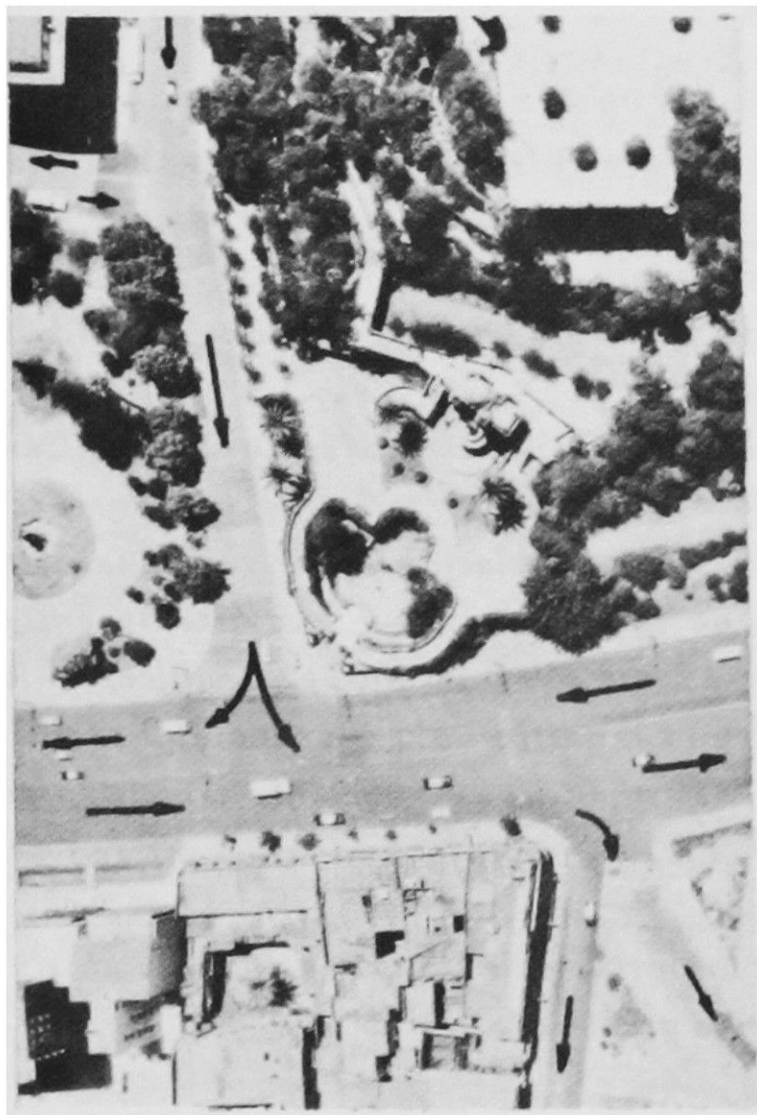


Fig. 1. a) Vista de la zona antes de la construcción del Paso Inferior Santa Lucía.

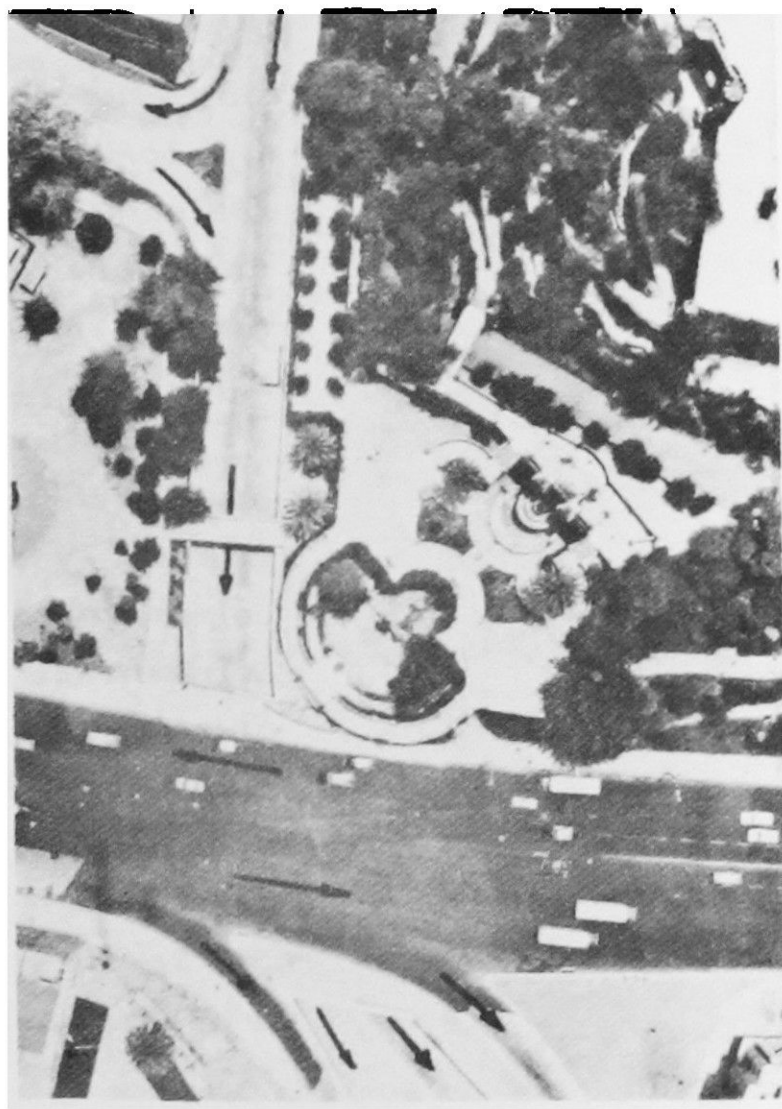


Fig. 1. b) Vista de la misma zona con la obra ya terminada.

(Fotos gentileza del Servicio Aerofotogramétrico de la Fuerza Aérea de Chile).

su construcción debió afrontar, además de lo ya señalado, dificultades propias de su ubicación, en especial intersecciones con servicios vitales de utilidad pública: matrices de agua potable, líneas eléctricas de alta tensión, cañerías de gas de alumbrado, colectores de alcantarillado y vías de tránsito muy recargado. Esto obligó a que la obra se desarrollase con grandes cuidados y limitaciones; pese a ello, el plazo acordado para su ejecución fue pequeño (6 meses) con el fin de pro-

ducir una mínima alteración en el funcionamiento del centro de la ciudad.

El Ministerio de la Vivienda confió la construcción de la obra a la empresa constructora Obras y Construcciones S.A. y la inspección técnica y administrativa de la misma a la oficina de ingeniería de Amaro Grove. El proyecto fue ejecutado por la oficina de ingenieros de Eduardo Infante.

En esta obra se colocaron alrededor de 4.200 m³ de hormigón estructural, mientras que alrededor de 1.500 m³ se destinaron a pavimentos.

MATERIALES EMPLEADOS. PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

La confección de los hormigones de la obra fue encargada a la empresa Ready Mix. Esta firma utilizó un árido silíceo chancado y un cemento de alta resistencia (Melón Extra). Este cemento se obtiene de la molienda conjunta de un clínker portland (80 %) y un agregado calcáreo-arcilloso (20 %). Este último calcinado a una temperatura superior a los 900 °C. La composición del clínker corresponde a la de un cemento intermedio entre los I y III americanos¹. Su composición aproximada es 53% de C₃S, 16% de C₂S, 13% de C₃A y 9% de C₄AF. Su finura es del orden de 4400 cm²/g (Blaine).

Los principales hormigones empleados corresponden a hormigones estructurales de los tipos C, D y E² (resistencias mínimas de 180, 225 y 300 kg/cm²) y a hormigones destinados a pavimentos cuyo requerimiento principal era resistencia mínima a la flexotracción de 45 kg/cm². El control de los hormigones fue confiado a los laboratorios del IDIEM.

La resistencia a la compresión se controló mediante la probeta cúbica de 20 cm de arista. La resistencia de flexotracción se controló mediante ensayo de la vigueta de 15 x 15 x 53 cm según las indicaciones de la norma ASTM C 73-64³. El ensayo del cubo modificado se efectuó utilizando las porciones rotas resultantes de las viguetas luego de hecho el ensayo de flexotracción; se siguieron las instrucciones de la norma ASTM C 116-65 T⁴.

Las probetas que se ensayaron a 28 días se mantuvieron 7 días en agua y el resto del tiempo en el ambiente del laboratorio. Las probetas ensayadas a 3 o a 7 días se ensayaron húmedas.

Por cada muestra de hormigón se ensayaron a compresión 1 probeta a 3 días, 2 a 7 días y 2 a 28 días; para determinar la resistencia de flexotracción se ensayaron una vigueta a 7 días y 2 a 28 días; en cuanto al cubo modificado se ensayaron 2 a 7 días y 4 a 28 días.

En el Anexo I, se presentan todos los resultados obtenidos. En la Tabla I aparecen los resultados de compresión en cubo normal y en la Tabla II los resultados a flexotracción y a la compresión en cubos normales y modificados.

Como información adicional a la entregada en las tablas, damos a continuación los valores correspondientes a la dispersión entre probetas compañeras, tanto

para hormigones estructurales como para hormigones de pavimentos:

Coefficiente de variación entre probetas compañeras hormigón estructural: probetas de compresión a 28 días $C = 3,2\%$.

Coefficiente de variación entre probetas compañeras hormigón de pavimentos: probetas de compresión a 28 días $C = 3,4\%$, probetas de flexotracción a 28 días $C = 4,1\%$, cubos modificados a 28 días $5,5\%$.

En el control de la obra no fueron utilizados los valores correspondientes al cubo modificado en combinación con los de compresión cúbica, ya que no se conocía exactamente su grado de representatividad. Más bien fueron utilizados como resultados adicionales del control para detectar alguna anomalía que se pudiera presentar en el ensayo a compresión de los cubos normales.

ANALISIS DE LOS RESULTADOS

En las Figs. 2 y 3 se han representado las relaciones entre las resistencias a compresión a 3 y 28 días y a 7 y 28 días respectivamente. En ambos casos se han utilizado tanto los resultados de hormigones estructurales como de pavimentos.

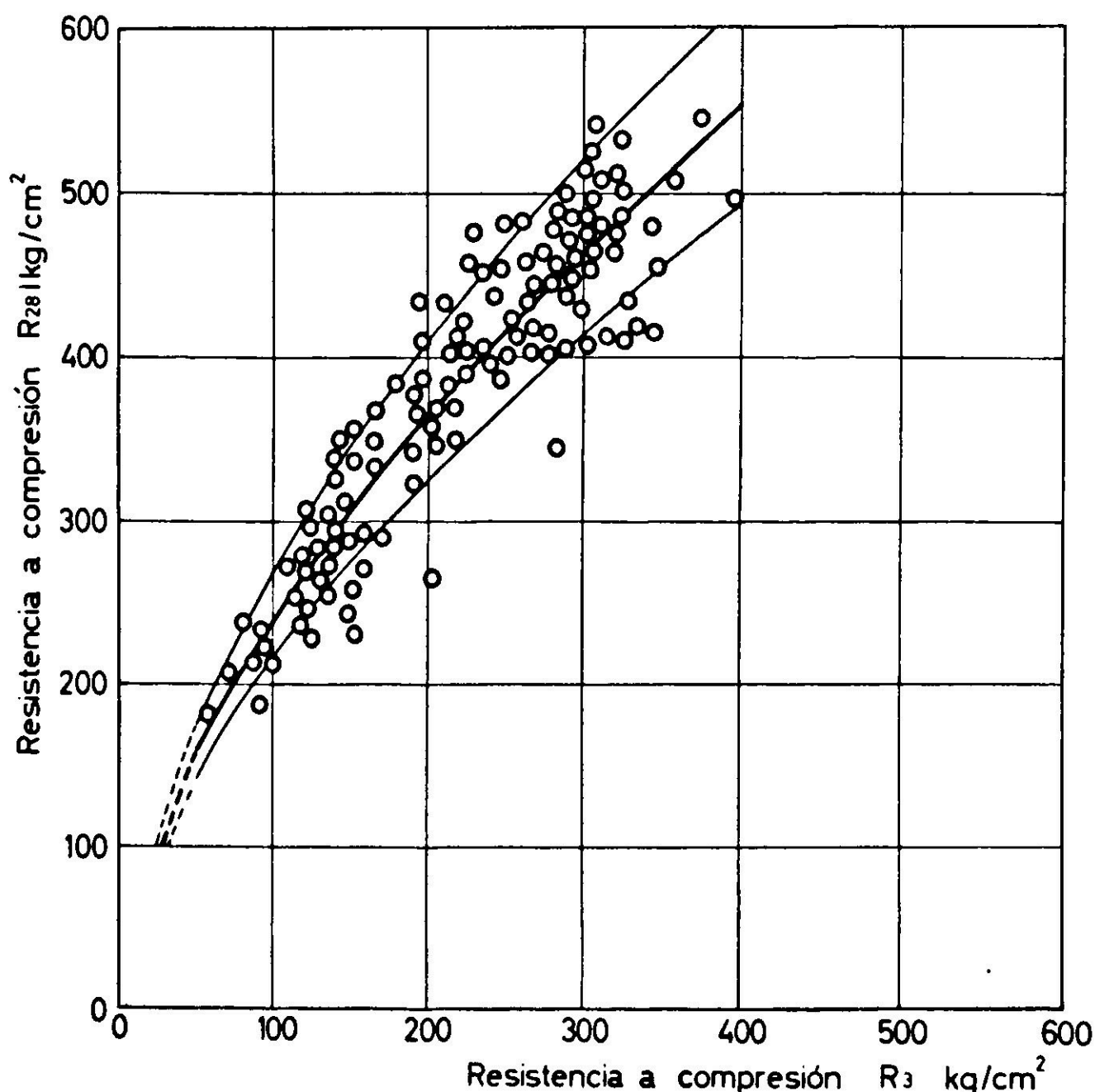


Fig. 2. Relación entre las resistencias a compresión a 3 y 28 días.

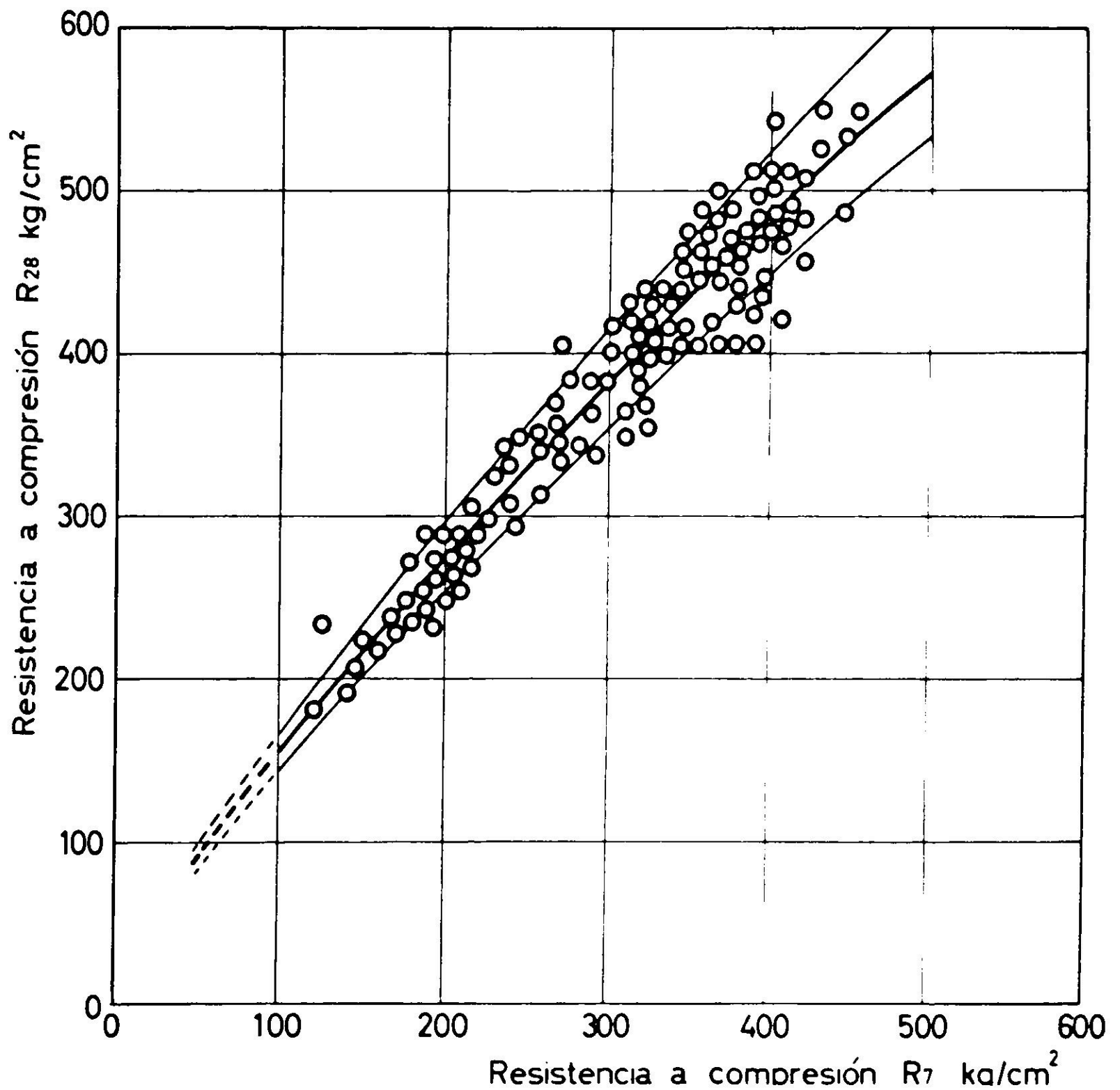


Fig. 3. Relación entre las resistencias a compresión a 7 y 28 días.

A la relación exhibida por el conjunto de puntos, en las Figs. 2 y 3, se ajustó una relación del tipo $R_{28} = K_1 R_7^{K_2}$. En la Fig. 4 aparecen dibujadas solamente las relaciones obtenidas, con sus límites de confianza. El análisis estadístico demuestra que estas relaciones difieren significativamente, razón por la cual se han presentado separadas.

En la Fig. 5 se presenta la relación entre las resistencias de flexotracción a 7 y 28 días. Para relacionar ambas resistencias se empleó en este caso una relación potencial como la mencionada en el párrafo anterior. En estas condiciones, para una exigencia de 60 kg/cm^2 de resistencia a la flexotracción a 28 días se podrían aceptar a 7 días valores correspondientes superiores a 54 kg/cm^2 y rechazar los menores que 46 kg/cm^2 .

En la Fig. 6 se han representado los puntos correspondientes a las relaciones entre la resistencia a la flexotracción a 28 días y las resistencias a compresión a

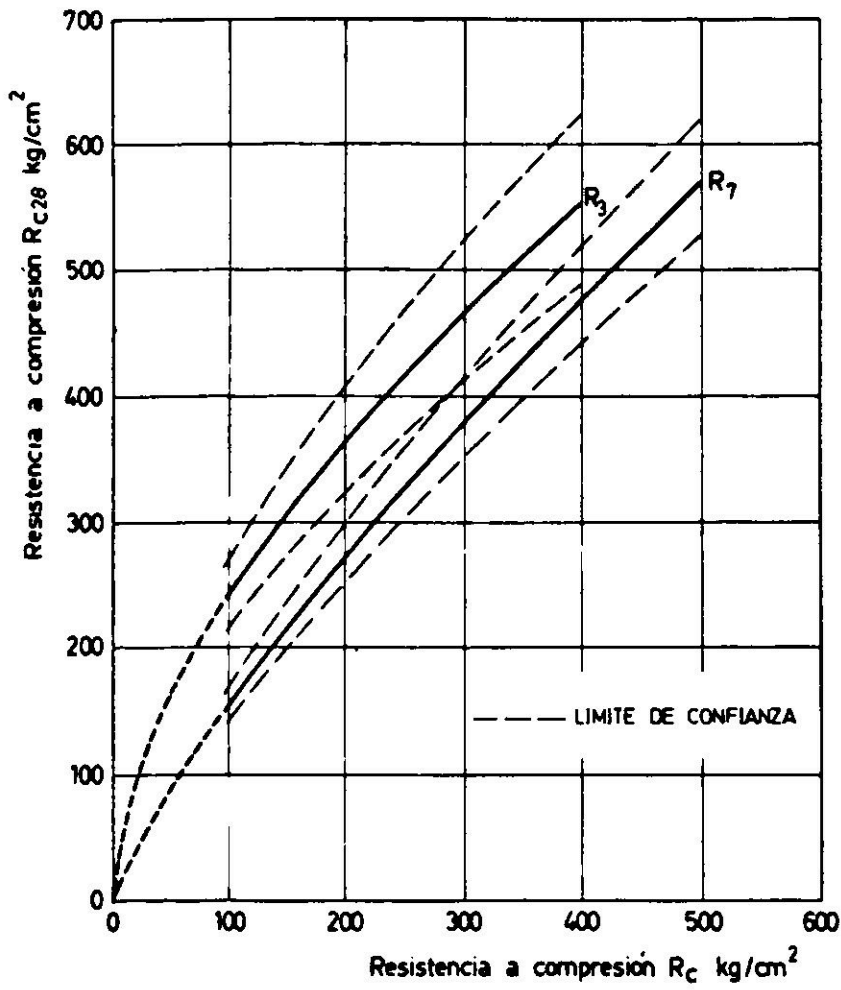


Fig. 4. Relaciones entre resistencias a compresión a 3 y a 28, y a 7 y 28 días.

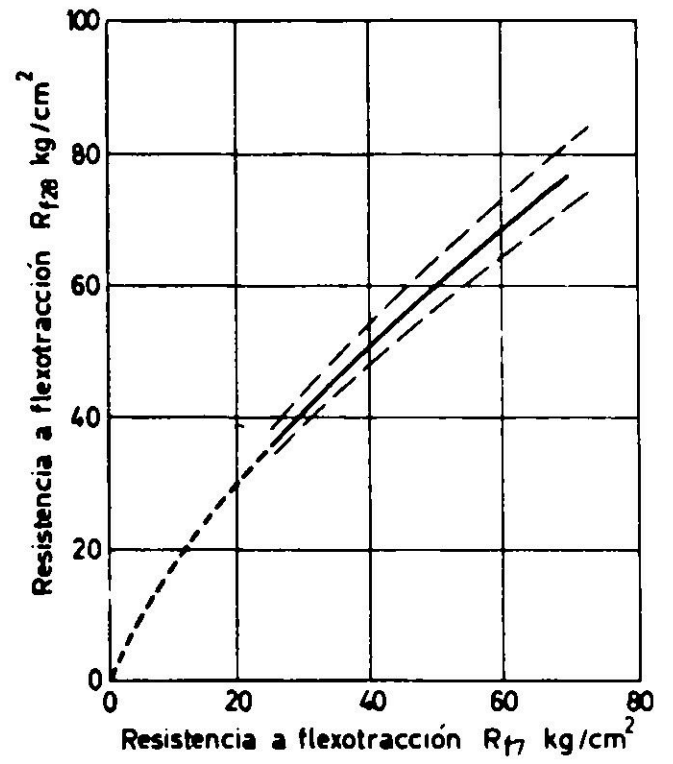


Fig. 5. Relación entre resistencias a flexotracción a 7 y a 28 días.

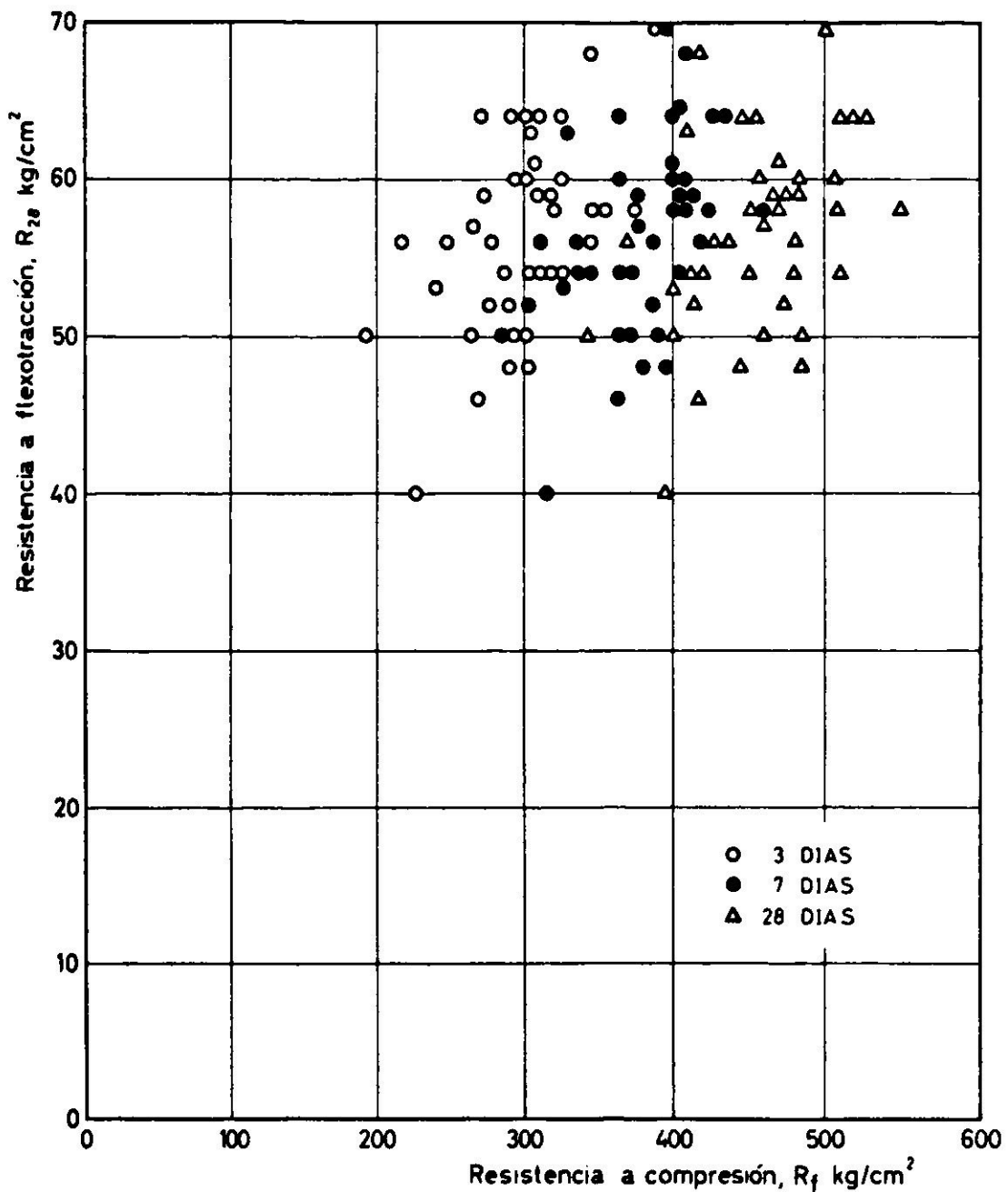


Fig. 6. Relación entre la resistencia a flexotracción a 28 días y las resistencias a compresión a 3, 7 y 28 días.

3, 7 y 28 días. No se ha ajustado ninguna curva a cada conjunto de puntos debido a que las relaciones aparecen deformadas por la estrechez del campo dentro del que se obtuvieron estos valores y por la dispersión natural que las caracteriza. No obstante lo dicho, los resultados obtenidos se han utilizado para obtener, a partir de ellos, la razón entre resistencias a compresión a 3, 7 y 28 días, que den una misma resistencia a la flexotracción:

$$R_3 : R_7 : R_{28} = 0,64 : 0,85 : 1 \quad (1)$$

(para valores de flexotracción a 28 días entre 40 kg/cm^2 y 70 kg/cm^2).

En la Fig. 7 se han representado los puntos correspondientes a la relación entre resistencias de compresión obtenidas en el cubo normal de 20 cm de arista y en el llamado "cubo modificado". La relación entre estos resultados exhibe una

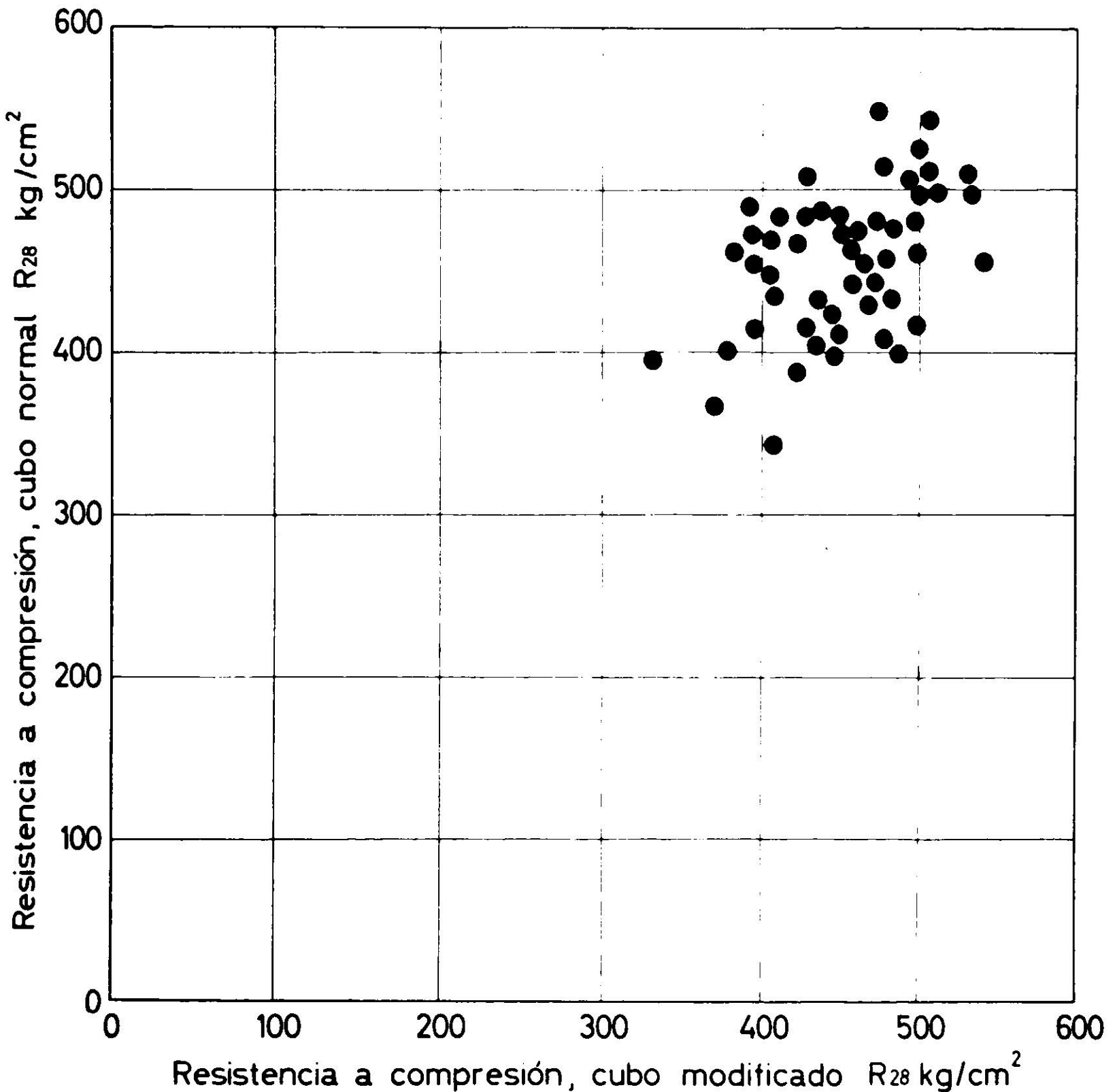


Fig. 7. Relación entre resistencias a compresión obtenidas en el cubo modificado y el cubo normal.

dispersión alta que se hace muy notoria por la estrechez del campo dentro del que se ha obtenido la información.

COMPARACION CON RESULTADOS DE OTRAS INVESTIGACIONES

Para el caso de la relación entre las resistencias a compresión entre 7 y 28 días hemos tomado como base de comparación el resultado de una investigación publicada en 1963⁵ (incluía resultados obtenidos por el IDIEM hasta mayo de 1962). En la Fig. 8 se han dibujado ambas líneas. Como puede observarse existe una coincidencia casi total entre ellas que obvia mayor análisis de las diferencias.

El resultado exhibido en la Fig. 8 respalda indirectamente la validez de la relación obtenida entre las resistencias a 3 y 28 días, sobre la cual no hemos

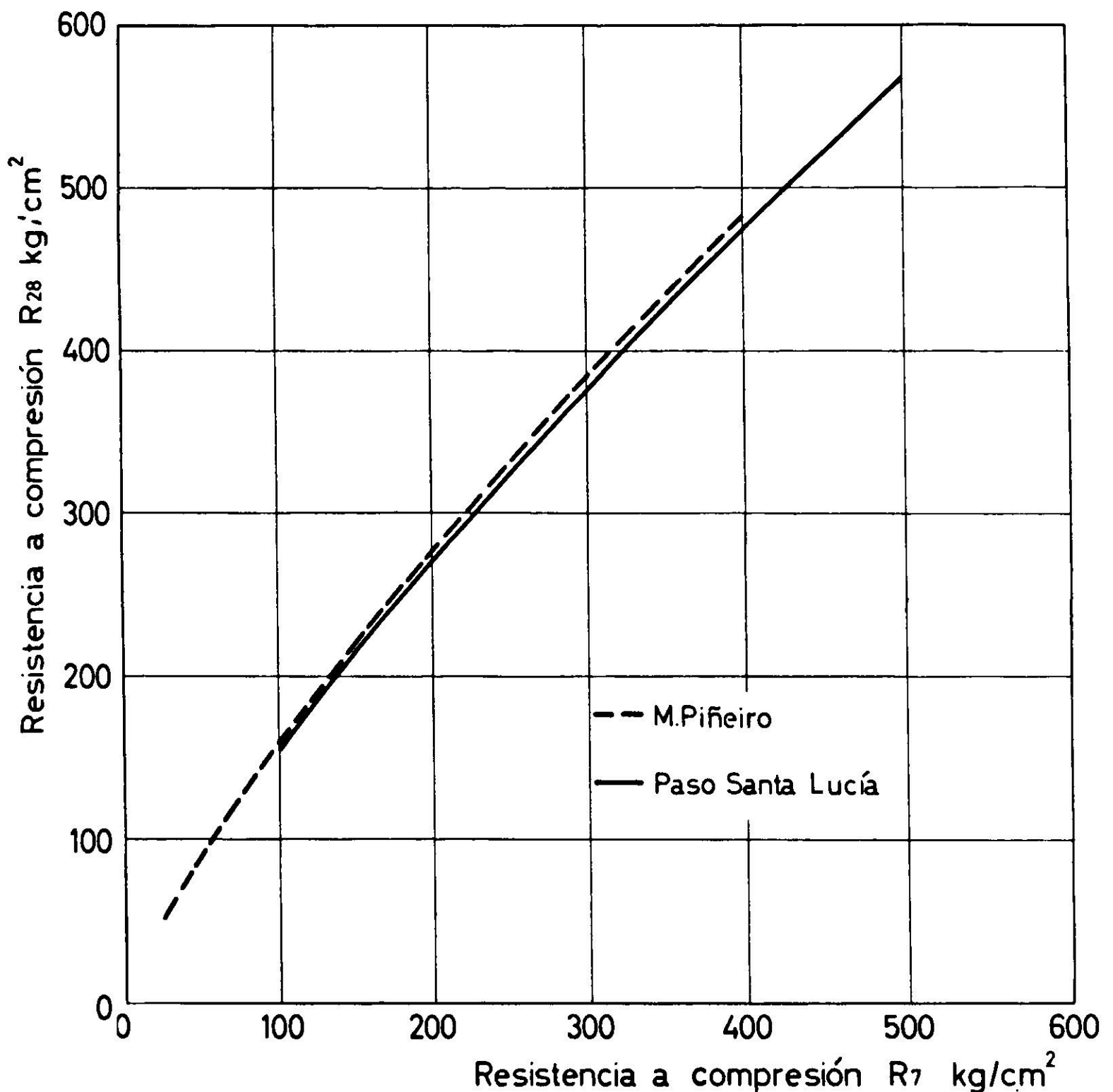


Fig. 8. Relación entre resistencias a compresión a 7 y a 28 días, en el Paso Inferior Santa Lucía y en otros controles de hormigones del IDIEM.

encontrado mayor información.

Otra de las relaciones de interés que hemos determinado es la que liga la resistencia de compresión con la de flexotracción, ambas a 28 días. El resultado obtenido en el control de la obra Paso Inferior Santa Lucía se comparó con los obtenidos en investigaciones de laboratorio hechas hace algún tiempo en el IDIEM^{6,7}. Respecto a estas investigaciones de laboratorio existían dos diferencias importantes: el tipo de cemento y el estado de humedad de las probetas en el momento del ensayo.

En lo que se refiere a tipo de cemento, como se ha dicho, en la obra Paso Inferior Santa Lucía se empleó Melón Extra, que es un portland con 20% de agregado calcáreo-arcilloso calcinado; Piñeiro et al⁶ emplearon Polpaico 400, que corresponde a un portland puzolánico*, con 20% de agregado puzolánico; finalmente el cemento empleado por Vásquez y Vergara⁷ fue Super Melón que corresponde a un portland**.

Respecto a las condiciones de humedad en el momento del ensayo, las probetas correspondientes al control que acá se analiza, fueron ensayadas secas luego de ser mantenidas los 7 primeros días en agua; en el caso de las referencias ya citadas las probetas fueron mantenidas en cámara húmeda hasta el momento de ensayo y ensayadas en estado húmedo (ASTM C 31-66⁸ y ASTM C 192-66⁹).

En la Fig. 9 puede apreciarse la distribución correspondiente al conjunto total de puntos. Es posible observar que existe un empalme bastante bueno entre la información tomada de la referencia 6 y la del Paso Inferior Santa Lucía. Se aprecia, sin embargo, una diferencia pequeña, pero notoria, con la información de Vásquez y Vergara⁷. Examinando los antecedentes de que disponemos no se ha podido ubicar el factor determinante de esta diferencia. Por esta razón se decidió ajustar al conjunto total de puntos una sola línea de regresión, que aparece dibujada, con sus límites de confianza, en la misma figura. La expresión analítica de esta línea de regresión es:

$$R_f = 1,26 R_{cil}^{0.63} \quad (2)$$

La curva dibujada en la Fig. 9 se ha comparado con resultados obtenidos por otros investigadores. De los diversos trabajos hemos seleccionado el de Gonnerman y Shuman¹⁰, y el de Grieb y Werner¹¹. Otros resultados tales como los de Malhotra y Zoldners¹², y el de Walker y Bloem¹³ se han descartado debido a la presencia de condiciones de ensayo muy diferentes a las normales. En el Anexo, Tabla III, se resumen las características más sobresalientes de estas investigacio-

*La composición de su clínter es 73% de C₃S, 10% de C₂S, 2% de C₃A y 14% de C₄AF, que lo aproxima mucho a los cementos Ferrari, italianos. Su finura es del orden de 4800 cm²/g (Blaine).

**La composición del Super Melón es igual a la del clínter del Melón Extra, esto corresponde a un tipo intermedio entre los I y III americanos. Este cemento es portland. Su finura es del orden de 3200 cm²/g (Blaine).

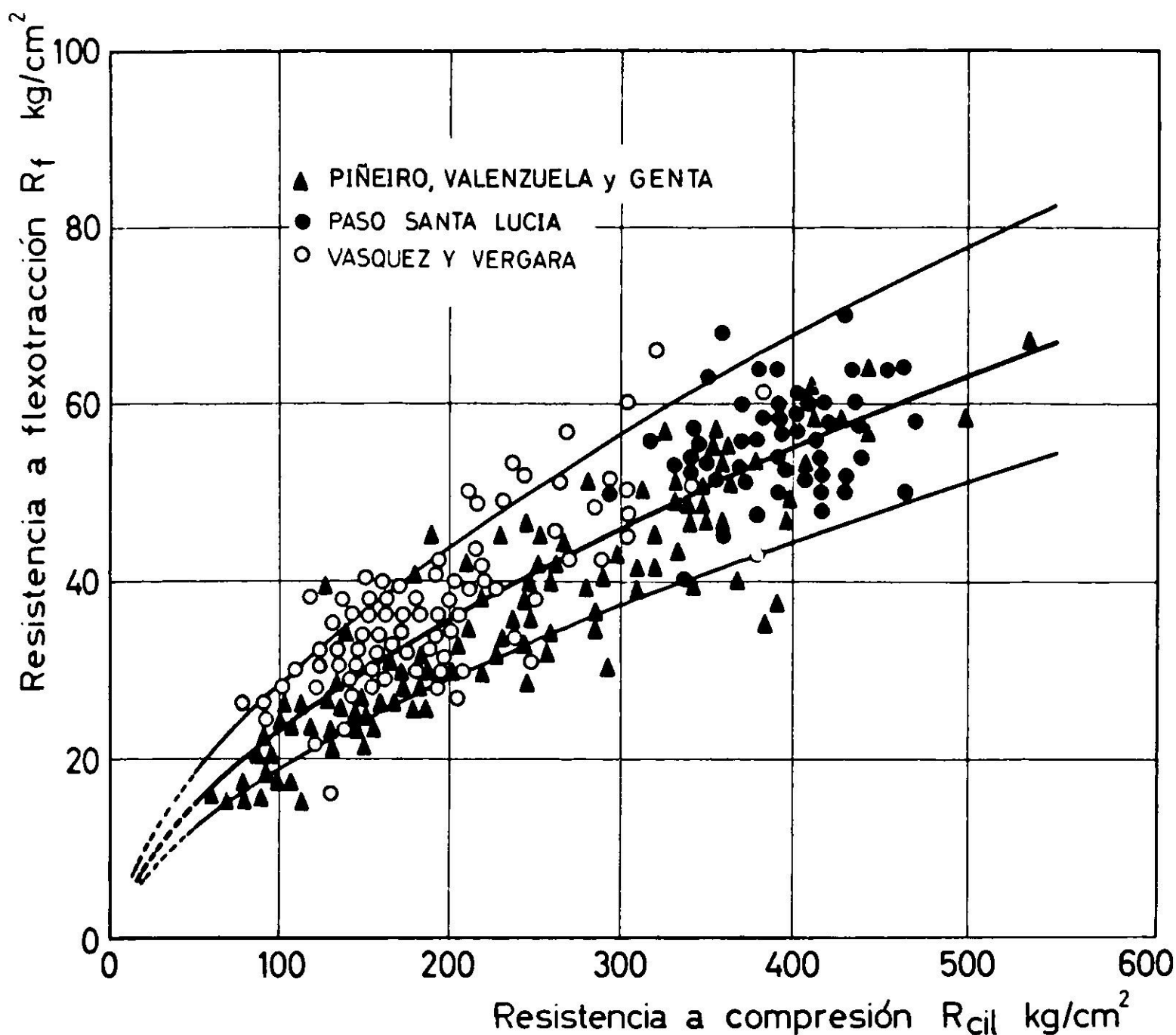


Fig. 9. Relación entre la resistencia de compresión y la de flexotracción, y límites de confianza.

nes. Se observa una buena concordancia con estos resultados obtenidos por investigadores extranjeros, Fig. 10, en condiciones que se aproximan a las nuestras. H.G. Heilman¹⁴, que recopiló resultados provenientes de diversas fuentes, entre los que figuran los de la referencia 6, también ha obtenido una conclusión similar. Todo esto considerando la dispersión que caracteriza esta relación.

En la Fig. 11 hemos dibujado la información que hemos obtenido para la relación entre la resistencia a compresión en probeta cúbica y la resistencia obtenida en el cubo modificado. En esta figura nuestra información aparece junto a la de Kesler¹⁵. Puede observarse que existe una muy buena concordancia entre ambos conjuntos de resultados, tanto en lo referente a tendencia de la regresión como en lo relativo a dispersión. La línea de regresión calculada muestra que, en promedio, el valor obtenido en el cubo modificado es muy similar al obtenido en el cubo normal; para determinados valores del cubo modificado, las diferencias van desde un 1% a un 5% (el menor valor corresponde a las tensiones de rotura más altas).

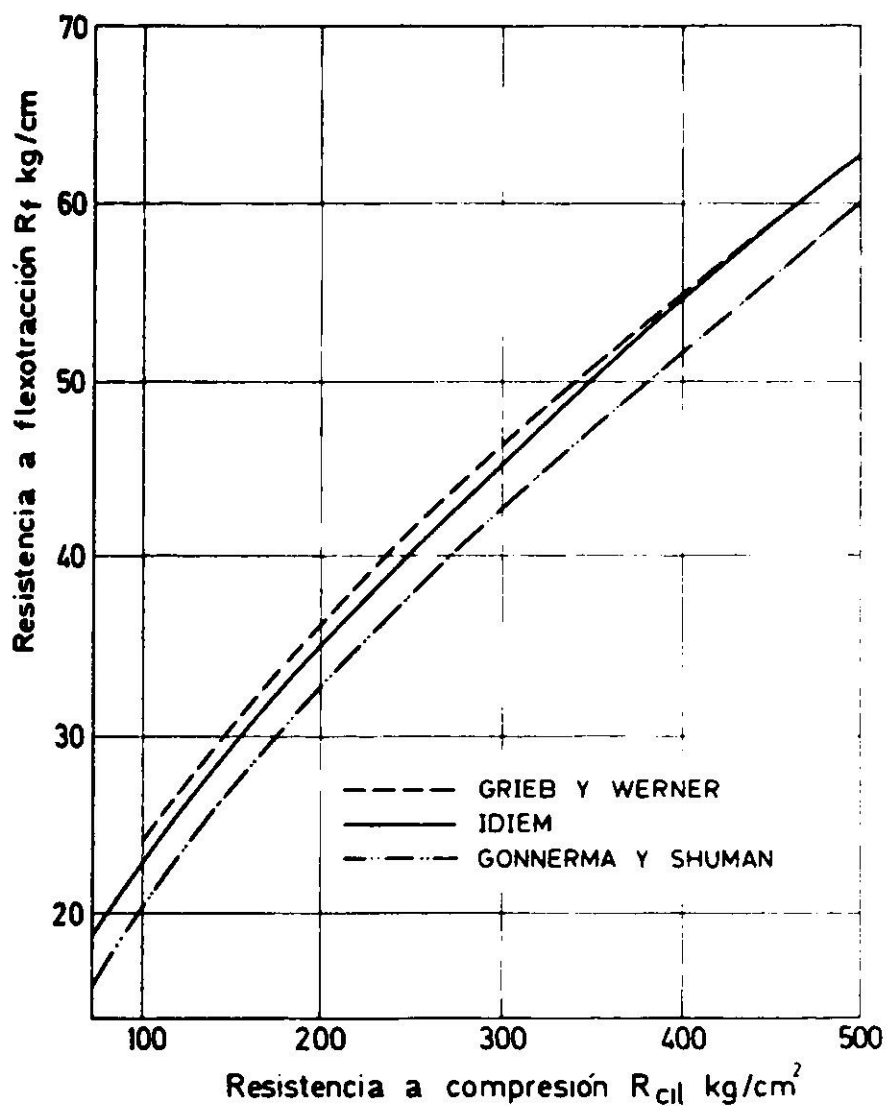


Fig. 10. Comparación entre relaciones de compresión y las de flexotracción: resultados tanto chilenos como extranjeros.

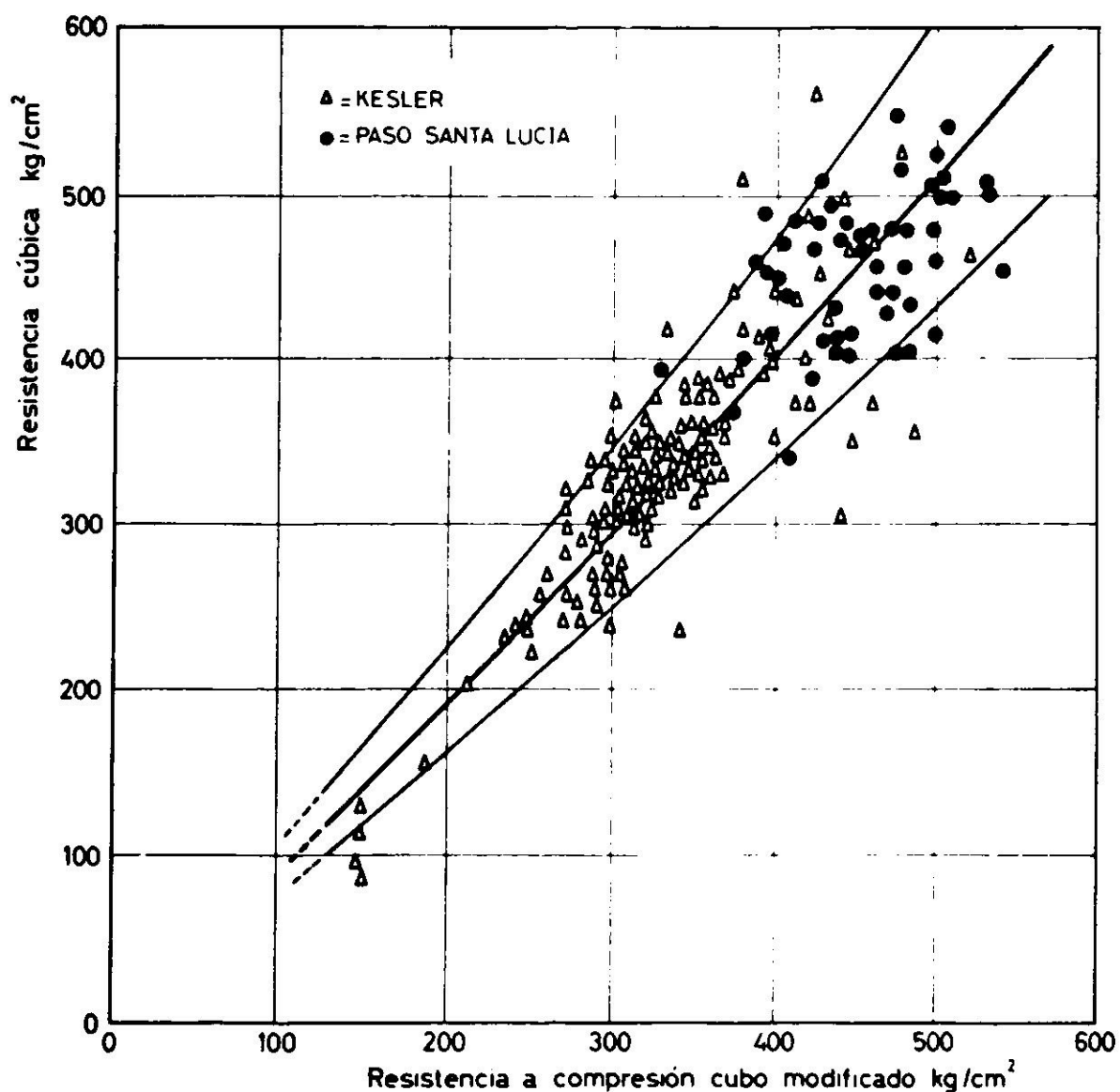


Fig. 11. Relación entre resistencias a compresión obtenida en el cubo modificado y en la probeta cúbica de 20 cm de arista. Comparación con los resultados obtenidos por Kesler¹⁵.

DISCUSION

La gran coincidencia que resultara para las dos relaciones que se compararon entre las resistencias a compresión a 7 y 28 días, obtenidas ambas con datos del IDIEM mediando entre ellas una diferencia de ocho años, obvian el cálculo de una relación ponderada. La relación potencial que se ha utilizado en el análisis estadístico es poco práctica, por esta razón hemos calculado una línea recta que si bien no es tan exacta como la otra es mucho más sencilla de recordar y de emplear. Su expresión es:

$$R_{28} = R_7 + 70 \text{ (kg/cm}^2\text{)}^* \quad (3)$$

Esta relación depende del tipo de cemento. En nuestro caso particular, como hemos dicho, el cemento empleado fue Melón Extra.

La investigación citada anteriormente utilizó 347 muestras, la que se trata en este artículo, 122, lo que da un total de 469 muestras. Esto confirma que la distribución obtenida ya se encuentra suficientemente definida.

La relación entre la resistencia de compresión y la de flexotracción se ha obtenido considerando un total de 243 muestras. Según lo que se ha expresado anteriormente, esta relación no se afecta sensiblemente por cambios en factores tales como tipo de cemento (con tal que predomine la naturaleza de portland), ni por las condiciones de humedad en el momento del ensayo con tal que, según creemos, las probetas se encuentren interiormente en una condición homogénea en lo referente a humedad. La totalidad de las muestras consideradas provienen sólo de hormigones confeccionados con áridos síliceos; por otro lado deben tenerse en consideración tanto experiencias efectuadas en el IDIEM⁶, como en el extranjero¹¹, que, si bien en algunos casos han llegado a una misma relación, empleando áridos diferentes, en general los resultados muestran que ella depende del tipo de árido. La relación obtenida la consideramos útil en la evaluación preliminar de dosis de cemento y en el cálculo de mezclas. Para utilizarla en el control de resistencias, en cuanto a aceptación o rechazo de resultados, habría que emplear los límites de confianza que aparecen en la Fig. 9, o definir otros según las exigencias del caso.

La relación entre las resistencias a compresión obtenidas en la probeta cúbica normal y en el cubo modificado es de interés porque muestra que tanto el factor tamaño, como las características especiales del cubo modificado no afectan de una manera importante, salvo en la dispersión, a la estimación del valor de la resistencia a compresión. En cuanto a estado de humedad en el momento del ensayo vale, en este caso, lo mismo ya dicho para la relación entre compresión y flexotracción.

*Esta línea se trazó como una paralela correspondiente a las abscisas $R_7 = 150 \text{ kg/cm}^2$ y $R_7 = 500 \text{ kg/cm}^2$, por el punto medio de la máxima desviación que dió esa cuerda. Su diferencia máxima respecto de la línea de regresión potencial es menor que 10 kg/cm^2 .

CONCLUSIONES

1. Se confirma que la relación entre resistencias a compresión puede expresarse mediante una relación potencial del tipo $R_{28} = K_2 R_7^{K_1}$, tal como se había establecido hace algunos años⁵.

En el caso del cemento Melón Extra que fue empleado en la obra objeto de este trabajo puede emplearse la relación lineal aproximada.

$$R_{28} = R_7 + 70 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Esta relación depende del tipo de cemento que se emplee

2. Como relación entre resistencias de compresión a 3, 7 y 28 días para obtener una misma resistencia de flexotracción a 28 días, puede emplearse la relación

$$R_3 : R_7 : R_{28} = 0,64 : 0,85 : 1$$

(válida para valores de flexotracción a 28 días entre 40 kg/cm² y 70 kg/cm²).

Las probetas a 3 y 7 días se ensayaron húmedas, a 28 días, en estado seco. Esta relación debe depender del tipo de cemento empleado, en este caso se utilizó Melón Extra.

3. A la relación entre la resistencia a compresión cilíndrica y la de flexotracción (con cargas en los tercios de la luz) se ajustó una relación potencial

$$R_f = 1,26 R_{cil}^{0,63}$$

Desde un punto de vista práctico puede considerarse que esta relación no depende del tipo de cemento pero sí del tipo de árido. La relación que hemos dado corresponde a áridos silíceos y para probetas ensayadas indistintamente en estado seco al aire o húmedo pero curadas en agua por lo menos los 7 primeros días.

4. El estudio de la correlación entre los resultados de ensayo del cubo modificado y el cubo de 20 cm de arista muestra que los resultados obtenidos en el cubo modificado pueden considerarse como representativos de la resistencia obtenida en el cubo normal sin efectuarle correcciones. Debe destacarse sí que la dispersión de los resultados del cubo modificado es mayor.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo se publica utilizando información propiedad de la Corporación de Mejoramiento Urbano (CORMU), organismo dependiente del Ministerio de la Vivienda y Urbanismo. Los autores agradecen a los ejecutivos e ingenieros de la corporación el permiso para utilizar estos datos y su interés y ayuda que facilitaron la publicación de este trabajo.

REFERENCIAS

1. BUREAU OF RECLAMATION *Concrete Manual*, Denver, Colorado, 1966, pp. 50.
2. INDITECNOR 170 ch. 52 *Hormigones de cemento*.
3. ASTM C 78-64 *Flexural strength of concrete (using simple beam with third point loading)*.
4. ASTM C 116-65 T *Compressive strength of concrete using portions of beams broken in flexure*.
5. PIÑEIRO, M. Relación entre las resistencias a compresión de hormigones a 7 y a 28 días *Revista del IDIEM*, vol. 2, n° 1 (abril 1963), pp. 33-43.
6. PIÑEIRO, M.; VALENZUELA, S., y GENTA, J. El ensayo de flexotracción y el ensayo de hendimiento del hormigón *Revista del IDIEM*, vol. 6, n° 2 (octubre 1967), pp. 99-119.
7. VASQUEZ, R., y VERGARA, A. *Características resistentes del hormigón ante solicitaciones de tracción*. Memoria para optar al título de ingeniero civil, Universidad de Chile, Santiago 1969.
8. ASTM C 31-66 *Concrete compression and Flexure Tes. Specimens, Making and Curing in the Field*.
9. ASTM C 192-66 *Concrete compression and Flexure Test Specimens, Making and Curing in the Laboratory*.
10. GONNERMAN, H.F., y SHUMAN, E.C. Compression, flexure and tension tests of plain concrete. *Proceedings of the American Society for Testing Materials*, vol. 28, 1928, pp. 527-564.
11. GRIEB, W.E., y WERNER, G. Comparison of the splitting tensile strength of concrete with flexural and compressive strengths. *Public Roads*, vol. 32, n° 5 (diciembre 1962).
12. MALHOTRA, V.M., y ZOLDNERS, N.G. Comparison of ring tensile strength of concrete with compressive, flexural and splitting-tensile strengths. *Journal of Materials*, vol. 2, n° 1 (marzo 1967), pp. 160-199.
13. WALKER, S., y BLOEM, D.L. Effects of aggregate size on properties of concrete. *Journal of the American Concrete Institute, Proceedings*, vol. 57, n° 3 (septiembre 1960), pp. 283-298.
14. HEILMAN, H.G. Beziehungen zwischen Zug-und Druckfestigkeit des Betons. *Beton Herstellung und Verwendung*, n° 2 (febrero 1969), pp. 68-70.
15. KESLER, C.E. Statistical relation between cylinder, modified cube, and beam strength of plain concrete. *Proceedings ASTM*, vol. 54 (1954), p. 1178.

**STRENGTH RELATIONS OF CONCRETE AT DIFFERENT
AGES FROM TEST CONTROL RESULTS**

SUMMARY:

A great number of concrete samples were taken by IDIEM during construction of the Santa Lucía undergrade crossing and the results of the tests performed are used in this paper to study the relations between compressive strength at 7 and 28 days, compressive strength versus modulus of rupture and results from cubic molds and from modified cube specimens.

These results were compared with those available from other sources. The results are discussed and their practical usefulness is analysed.

ANEXO 1

TABLA I

RESISTENCIAS DE HORMIGONES ESTRUCTURALES

Resultados en kg/cm^2

| Muestra Nº | Resistencia a compresión cubo normal | | |
|---------------|---|-----|------|
| | 3 d | 7 d | 28 d |
| 1 | 192 | 270 | 323 |
| 2 | 203 | 227 | 266 |
| 3 | 134 | 204 | 254 |
| 4 | 125 | 172 | 130 |
| 5 | 152 | 294 | 232 |
| 6 | 128 | 214 | 283 |
| 7 | 158 | 212 | 268 |
| 8 | 149 | 183 | 246 |
| 9 | 120 | 184 | 236 |
| 10 | 140 | 207 | 275 |
| 11 | 167 | 272 | 336 |
| 12 | 123 | 211 | 280 |
| 13 | 140 | 218 | 304 |
| 14 | 89 | 157 | 220 |
| 15 | 140 | 210 | 288 |
| 16 | 125 | 226 | 298 |
| 17 | 171 | 219 | 290 |
| 18 | 133 | 240 | 307 |
| 19 | 94 | 169 | 226 |
| 20 | 124 | 207 | 270 |
| 21 | 164 | 245 | 292 |
| 22 | 132 | 298 | 273 |
| 23 | 146 | 260 | 314 |
| 24 | 143 | 201 | 290 |
| 25 | 116 | 186 | 254 |
| 26 | 151 | 206 | 259 |
| 27 | 153 | 271 | 356 |
| 28 | 99 | 181 | 248 |
| 29 | 150 | 207 | 287 |
| 30 | 371 | 447 | 486 |
| 31 | 325 | 449 | 532 |
| 32 | 263 | 393 | 430 |
| 33 | 235 | 321 | 418 |
| 34 | 259 | 336 | 411 |
| 35 | 93 | 142 | 192 |

| Muestra Nº | Resistencia a compresión cubo normal | | |
|---------------|---|-----|------|
| | 3 d | 7 d | 28 d |
| 36 | 95 | 154 | 222 |
| 37 | 72 | 146 | 207 |
| 38 | 59 | 121 | 181 |
| 39 | 110 | 179 | 271 |
| 40 | 93 | 172 | 234 |
| 41 | 227 | 305 | 400 |
| 42 | 145 | 246 | 346 |
| 43 | 157 | 238 | 338 |
| 44 | 166 | 257 | 348 |
| 45 | 195 | 293 | 366 |
| 46 | 168 | 268 | 370 |
| 47 | 232 | 353 | 452 |
| 48 | 143 | 240 | 337 |
| 49 | 184 | 280 | 382 |
| 50 | 142 | 235 | 326 |
| 51 | 193 | 293 | 380 |
| 52 | 214 | 322 | 383 |
| 53 | 197 | 326 | 410 |
| 54 | 205 | 272 | 347 |
| 55 | 218 | 311 | 350 |
| 56 | 249 | 367 | 453 |
| 57 | 223 | 324 | 400 |
| 58 | 197 | 333 | 437 |
| 59 | 202 | 290 | 362 |
| 60 | 269 | 373 | 402 |
| 61 | 219 | 343 | 402 |
| 62 | 207 | 312 | 368 |
| 63 | 196 | 298 | 382 |
| 64 | 85 | 126 | 233 |
| 65 | 267 | 337 | 437 |
| 66 | 287 | 372 | 456 |
| 67 | 186 | 258 | 343 |
| 68 | 224 | 319 | 420 |
| 69 | 275 | 351 | 404 |
| 70 | 212 | 330 | 431 |

TABLA II
RESISTENCIAS DE HORMIGONES PARA PAVIMENTOS (kg/cm²)

| Muestra N ^o | Resistencia a compresión | | | | | Resistencia a flexotracción | |
|---------------------------|--------------------------|-----|------|-----------------|------|-----------------------------|------|
| | cubo normal | | | cubo modificado | | | |
| | 3 d | 7 d | 28 d | 7 d | 28 d | 7 d | 28 d |
| 1 | 277 | 304 | 414 | 341 | 396 | 46 | 52 |
| 2 | 320 | 406 | 470 | 368 | 403 | 51 | 58 |
| 3 | 323 | 423 | 509 | 411 | 428 | 53 | 64 |
| 4 | 303 | 396 | 484 | 374 | 443 | 40 | 48 |
| 5 | 269 | 364 | 417 | 353 | 446 | 37 | 46 |
| 6 | 226 | 318 | 395 | 285 | 328 | 33 | 40 |
| 7 | 217 | 321 | 369 | 295 | 373 | 49 | 56 |
| 8 | 241 | 327 | 400 | 284 | 378 | 45 | 53 |
| 9 | 327 | 337 | 412 | 358 | 432 | 43 | 54 |
| 10 | 303 | 328 | 408 | 361 | 435 | 53 | 63 |
| 11 | 389 | 394 | 499 | 391 | 508 | 62 | 70 |
| 12 | 301 | 400 | 514 | 437 | 477 | 52 | 64 |
| 13 | 246 | 337 | 438 | 274 | 407 | 46 | 56 |
| 14 | 307 | 399 | 468 | 364 | 423 | 49 | 61 |
| 15 | 263 | 364 | 484 | 375 | 427 | 39 | 50 |
| 16 | 270 | 399 | 442 | 392 | 471 | 50 | 64 |
| 17 | 289 | 364 | 455 | 467 | 541 | 52 | 64 |
| 18 | 290 | 380 | 442 | 350 | 462 | 37 | 48 |
| 19 | 319 | 344 | 414 | 348 | 447 | 42 | 54 |
| 20 | 289 | 367 | 500 | 418 | 532 | 43 | 50 |
| 21 | 325 | 401 | 506 | 385 | 496 | 49 | 60 |
| 22 | 294 | 405 | 484 | 400 | 411 | 49 | 60 |
| 23 | 273 | 377 | 468 | 362 | 453 | 49 | 59 |
| 24 | 314 | 405 | 510 | 408 | 504 | 46 | 54 |
| 25 | 356 | 401 | 508 | 427 | 530 | 45 | 58 |
| 26 | 344 | 409 | 416 | 388 | 499 | 49 | 68 |
| 27 | 309 | 404 | 476 | 485 | 459 | 52 | 59 |
| 28 | 344 | 419 | 480 | 438 | 498 | 48 | 56 |
| 29 | 317 | 414 | 479 | 396 | 480 | 51 | 59 |
| 30 | 375 | 457 | 548 | 422 | 474 | 54 | 58 |
| 31 | 301 | 363 | 456 | 350 | 462 | 50 | 60 |
| 32 | 266 | 377 | 460 | 360 | 499 | 46 | 57 |
| 33 | 347 | 423 | 456 | 411 | 479 | 48 | 58 |
| 34 | 306 | 432 | 525 | 457 | 500 | 52 | 64 |
| 35 | 278 | 387 | 428 | 365 | 468 | 45 | 56 |
| 36 | 294 | 389 | 460 | 317 | 386 | 42 | 50 |
| 37 | 307 | 364 | 480 | 471 | 472 | 48 | 54 |
| 38 | 290 | 387 | 473 | 287 | 439 | 42 | 52 |
| 39 | 191 | 283 | 342 | 264 | 408 | 39 | 50 |
| 40 | 288 | 372 | 450 | 288 | 399 | 42 | 54 |
| 41 | 308 | 404 | 542 | 445 | 506 | 39 | 50 |
| 42 | 307 | 434 | 499 | 433 | 505 | 37 | 52 |
| 43 | 251 | 375 | 484 | 348 | 443 | 38 | 52 |
| 44 | 328 | 396 | 433 | 419 | 482 | 47 | 60 |
| 45 | 255 | 359 | 405 | 333 | 481 | 39 | 55 |
| 46 | 248 | 322 | 388 | 354 | 422 | 41 | 53 |
| 47 | 296 | 323 | 432 | 340 | 436 | 41 | 52 |
| 48 | 280 | 370 | 404 | 369 | 445 | 46 | 54 |
| 49 | 229 | 365 | 476 | 329 | 452 | 49 | 60 |
| 50 | 235 | 363 | 452 | 281 | 394 | 44 | 53 |
| 51 | 283 | 340 | 404 | 365 | 478 | 47 | 55 |
| 52 | 292 | 413 | 489 | 361 | 391 | 48 | 58 |

TABLA III
CARACTERISTICAS MAS IMPORTANTES EN LA DETERMINACION DE RELACION
ENTRE RESISTENCIAS A LA COMPRESION Y A LA FLEXOTRACCION

| Investigadores | Año | Tipo y T. máx. árido | Probeta compresión | Probeta flexotracción | Comentario |
|-----------------------------|--------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|------------|
| Gonnerman y Shuman | (1928) | silíceo 1 1/2" | cil. 15 x 30 cm | 18 x 25 x 96 cm | Incluída |
| Grieb y Werner | (1962) | silíceo 1 1/2" | cil. 15 x 30 cm | 15 x 15 x 52 cm | Incluída |
| Malhotra y Zoldners | (1967) | heterogéneo 3/8" | cil. 15 x 30 cm | 9 x 10 x 41 cm | Desechada |
| Piñeiro, Valenzuela y Genta | (1967) | silíceo 1 1/2" | cil. 15 x 30 cm | 15 x 15 x 60(53) cm | Incluída |
| Walker y Bloem | (1960) | silíceo 3/8"-2 1/2" | cil. 15 x 30 cm | 15 x 15 x 91 cm | Desechada |
| Vergara y Vásquez | (1968) | silíceo 1 1/2" | cil. 15 x 30 cm | 15 x 15 x 53 cm | Incluída |
| Paso Inf. Sta. Lucía | (1970) | silíceo 1 1/2" | cubo 20 x 20 x 20 cm | 15 x 15 x 53 cm | Incluída |