

## Dosificación de morteros

**Este artículo recoge parte de la información obtenida de la realización del proyecto de grado "Dosificación de morteros. Diseño de mezclas en mortero", bajo la dirección del ingeniero Alejandro Sandino Pardo. Se muestra aquí la necesidad de implementar un método de dosificación de los morteros a partir del valor de resistencia que se requiera de ellos y no, como es habitual, dosificarlos por partes de cemento y arena sin prever su resistencia. Se presentan dos gráficos que permiten dosificar el mortero en la forma descrita, según la finura de la arena que se use, y además otras conclusiones a las que se llegó tras ensayar muestras de 76 mezclas de mortero y que tienen que ver con sus resistencias a los 3 y a los 7 días, con sus resistencias en el ensayo rápido, con el efecto del tamaño del cilindro ensayado, y con la relación agua/cemento de la mezcla; siempre en función de la resistencia obtenida a los 28 días.**

**RODRIGO SALAMANCA CORREA**  
Ingeniero Civil  
Universidad Nacional.

Pag. 17 — 23  
Ingeniería e Investigación  
Volumen 3 N° 2  
Trimestre 1 — 1985

La investigación motivo de este artículo pretende aportar información acerca del comportamiento de los morteros dosificados y diseñados en las condiciones que son normales y con los materiales de uso común en nuestro medio. Es así como se controlaron en esa investigación tres variables determinantes de dicho comportamiento; ellas son: proporción cemento:arena, finura de la arena y fluidez de la mezcla. En cuanto a la primera variable, proporción cemento: arena (1:n), se usaron valores de n variando entre 2 y 15, proporciones en peso, lo cual evidentemente implica un amplio rango de resistencias, desde muy altas para las mezclas ricas en cemento (1:2, por ejemplo) hasta muy bajas para las mezclas pobres (1:10 ó 1:15). Ha sido este parámetro n el que normalmente se ha usado para el diseño y dosificación del mortero, motivo por el cual adquiere importancia el conocer los valores de resistencia a la compresión del mortero para diferentes valores de él. La segunda variable, finura de la arena, fue evaluada mediante el módulo de finura obtenido en ensayos granulométricos, y se usaron tres diferentes arenas, todas de uso corriente en la ciudad de Bogotá; la primera es una arena de río (Tunjuelito) con alto valor de módulo de finura, 3.39. La segunda es una arena de peña, lavada, con módulo de finura intermedio, de 2.43 (San Francisco) y la tercera también de peña y lavada tiene módulo de finura de 1.97 (La Cita). La tercera variable es la fluidez de la mezcla de mortero, la cual fue evaluada mediante ensayos en la mesa de flujo; se trabajó con dos diferentes fluideces o manejabilidades: se hicieron mezclas plásticas (fluidez normal) es decir aquellas cuya expansión en la base del tronco de cono, medida por mesa de flujo, fluctúa entre 100% y 115% y mezclas fluidas, aquellas con expansión mayor de 120%.

Los ensayos de resistencia a la compresión se hicieron sobre cilindros de 7.5 cm. de diámetro y 15 cm. de altura; en términos generales se ensayaron tres cilindros para cada edad (3, 7 y 28 días) de cada mezcla y adicionalmente se fundieron cilindros para efectuar ensayos rápidos (mediante curado acelerado) para algunas de las mezclas, así como cilindros de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de altura para estudiar el efecto del tamaño de las muestras sobre la resistencia a la compresión del mortero. Además y con el fin de lograr una mayor confiabilidad de los

resultados debe anotarse que de cada combinación de variables se hicieron dos mezclas independientes de modo que los resultados presentados son los promedios de las dos mezclas.

Respecto de la metodología adoptada para el ensayo de los materiales utilizados, así como lo referente a los diseños y al control que se llevó de la totalidad de las mezclas hechas, se analizan en extenso en la memoria del proyecto que nos ocupa.

### RESULTADOS OBTENIDOS

Se presentan a continuación los datos de resistencia a la compresión obtenidos para las tres arenas estudiadas tanto en el ensayo rápido, como a los 3, 7 y 28 días (para cilindros de 7.5 cm. de diámetro y 15 cm. de altura), y la resistencia a los 28 días para los cilindros de 15 cm. de diámetro y 30 cm. de

altura. Estos resultados, promedios de los obtenidos en cada caso, se muestran en las tablas N° 1, 2 y 3. Nótese que se presentan las resistencias para las diferentes proporciones usadas (partes de cemento y arena 1:n, en peso) y para las dos manejabilidades mencionadas: plástica (PL) y flúida (FL). Con base en estos datos se han trazado las curvas presentadas y que darán pie a la discusión de los resultados que se hace adelante. En la tabla N° 4 se muestran los valores de la relación agua/cemento (A/C) de las mezclas, según se obtuvieron de las dosificaciones corregidas, para las tres arenas en estudio.

El gráfico N° 1 muestra la forma típica de las curvas de resistencia a los 28 días vs. n (número de partes de arena por una de cemento); forma análoga a la del caso de la arena de Tunjuelito se obtiene para las otras dos arenas. En el gráfico N° 2 que muestra la

**TABLA N° 1**  
Resistencias a diferentes edades (Kg/cm.<sup>2</sup>)  
Arena de Tunjuelito, M.F. = 3.39

Mezcla	Cilindros de 7.5 × 15 cm. R <sub>i</sub> (Kg/cm. <sup>2</sup> )				Cilindros 15 × 30 cm. R <sub>28</sub> (Kg/cm. <sup>2</sup> )	
	R <sub>ER</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>28</sub>		
1:2	PL	135.0	232.0	374.6		
	FL	103.0	198.1	311.7		
1:3	PL	69.3	55.0	119.3	213.3	
	FL	67.3	55.5	113.0	218.4	
1:4	PL		50.6	79.9	126.8	
	FL		56.6	66.4	120.2	
1:5	PL	28.7	27.5	54.7	84.5	103.8
	FL	24.2	26.5	49.5	71.0	93.1
1:6	PL		15.9	27.1	56.3	
	FL		17.3	28.0	52.2	
1:10	PL		5.1	10.2	21.9	20.3
	FL		4.2	8.7	19.4	17.7
1:15	PL		2.7	5.2	7.9	
	FL		—	—	7.6	

**TABLA N° 3**  
Resistencias a diferentes edades (Kg/cm.<sup>2</sup>)  
Arena de La Cita, M.F. = 1.97

Mezcla	Cilindros de 7.5 × 15 cm. R <sub>i</sub> (Kg/cm. <sup>2</sup> )				Cilindros 15 × 30 cm. R <sub>28</sub> (Kg/cm. <sup>2</sup> )	
	R <sub>ER</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>28</sub>		
1:2	PL		97.8	190.7	310.4	
	FL		104.0	188.2	297.0	
1:3	PL	41.2	45.0	84.0	136.8	133.6
	FL	39.4	38.5	73.0	137.9	130.4
1:4	PL		18.6	36.0	76.0	
	FL		19.4	34.9	65.9	
1:5	PL	9.5	14.3	25.4	39.7	40.5
	FL	9.0	11.8	22.8	42.2	39.9
1:6	PL		7.3	14.3	27.3	
	FL		6.5	12.8	26.1	
1:8	PL		3.4	7.3	14.8	15.1
	FL		3.8	7.4	13.6	14.8

**TABLA N° 2**  
Resistencias a diferentes edades (Kg/cm.<sup>2</sup>)  
Arena de San Francisco, M.F. = 2.43

Mezcla	Cilindros de 7.5 × 15 cm. R <sub>i</sub> (Kg/cm. <sup>2</sup> )				Cilindros 15 × 30 cm. R <sub>28</sub> (Kg/cm. <sup>2</sup> )	
	R <sub>ER</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>7</sub>	R <sub>28</sub>		
1:2	PL	155.6	259.6	346.8		
	FL	139.8	234.1	324.8		
1:3	PL	49.0	61.0	110.0	169.9	164.8
	FL	51.2	58.0	107.1	160.1	163.1
1:4	PL		22.0	47.0	88.9	
	FL		20.5	39.0	66.6	
1:5	PL	12.5	14.5	28.0	55.3	52.7
	FL	12.7	14.0	29.1	53.9	53.0
1:6	PL		10.5	20.3	44.9	
	FL		8.9	19.4	37.8	
1:8	PL		6.1	11.3	21.1	19.3
	FL		4.1	9.7	20.1	18.0

**TABLA N° 4**  
Valores de la relación agua/cemento

Mezcla		Arena		
		Tunjuelito	S. Francisco	La Cita
1:2	PL	0.47	0.50	0.57
	FL	0.49	0.56	0.58
1:3	PL	0.67	0.63	0.75
	FL	0.66	0.67	0.76
1:4	PL	0.78	0.98	0.80
	FL	0.79	0.99	0.92
1:5	PL	0.88	1.21	1.17
	FL	0.93	1.20	1.29
1:6	PL	1.12	1.14	1.35
	FL	1.09	1.38	1.40
1:8	PL		1.70	1.48
	FL		1.78	1.54
1:10	PL	1.67		
	FL	1.89		
1:15	PL	2.87		
	FL	3.13		

resistencia a los 28 días vs. el contenido de cemento para los morteros plásticos y para las tres arenas de diferente finura, se hace evidente la importancia del parámetro finura de la arena; similar es el gráfico tratándose de las mezclas flúidas. El tercer gráfico también se refiere a los contenidos de cemento, pero solamente para la arena de Tunjuelito e indicando en él los resultados tanto para mezclas plásticas como flúidas. Los gráficos N° 4, 5 y 6 muestran la relación entre la resistencia a los 28 días y resistencia en el ensayo rápido, a los 3 días y a los 7 días respectivamente. En cada caso se indica la ecuación encontrada para la curva que se dibuja con la totalidad de datos disponibles de la investigación. El gráfico N° 7 permite analizar el efecto del tamaño del cilindro en la resistencia de los morteros. Finalmente el gráfico N° 8 presenta los datos de la relación agua/cemento en función de la resistencia a los 28 días para la arena de Tunjuelito; se ilustra en él la forma típica de esas curvas y además se indica la expresión que mejor se ajusta a la dibujada.

**ANALISIS DE LOS RESULTADOS**

**Resistencia y proporción arena:cemento (n):**

Puede observarse del gráfico N° 1 ( $R_{28}$  vs.  $n$ ) y de los datos presentados, cómo para las mezclas más ricas en cemento la resistencia aumenta considerablemente con relación a las mezclas más pobres (alto valor de  $n$ ), tal como era de esperarse, y como

ocurre con las mezclas de hormigón. Así mismo puede verse que se obtienen mayores valores de resistencia para las mezclas plásticas que para las flúidas. Lo mismo ocurre en términos generales para las resistencias a los 3 y a los 7 días. Obsérvese cómo las resistencias son mayores para la arena de Tunjuelito (módulo de finura = 3.39) que las resultantes de otras arenas con menores módulos de finura.

Se encontraron las siguientes expresiones para la resistencia a los 28 días en función de  $n$  (partes de arena por una de cemento):

Tunjuelito:  $R_{28} = 1603 n^{-1.92}$ , ( $r^2 = 0.988$ )  
 San Francisco:  $R_{28} = 1374 n^{-2.00}$ , ( $r^2 = 0.989$ )  
 La Cita:  $R_{28} = 1515 n^{-2.24}$ , ( $r^2 = 0.997$ )

Expresiones para resistencia en Kg/cm<sup>2</sup>; y el valor  $r^2$  indicado en cada caso representa el coeficiente de determinación de las expresiones. Se puede pensar, de acuerdo con lo anterior, en una generalización de la forma:  $R_{28} = 1500 n^{-x}$  en la cual el exponente  $x$  sería una variable dependiente de la finura de la arena: menor valor de él en cuanto mayor sea el módulo de finura.

**Resistencia, finura de la arena y fluidez:**

De las curvas que presentan  $R_{28}$  vs. contenido de cemento se deduce claramente el efecto de la finura de la arena. Observando el gráfico N° 2, para una

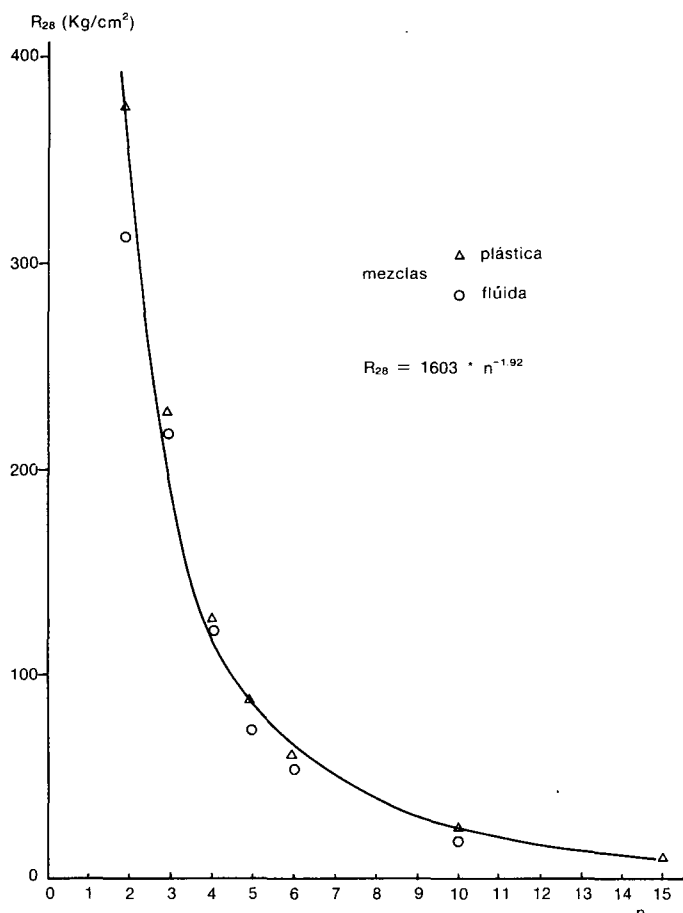


GRAFICO 1.  $R_{28}$  vs.  $n$ . Tunjuelito.

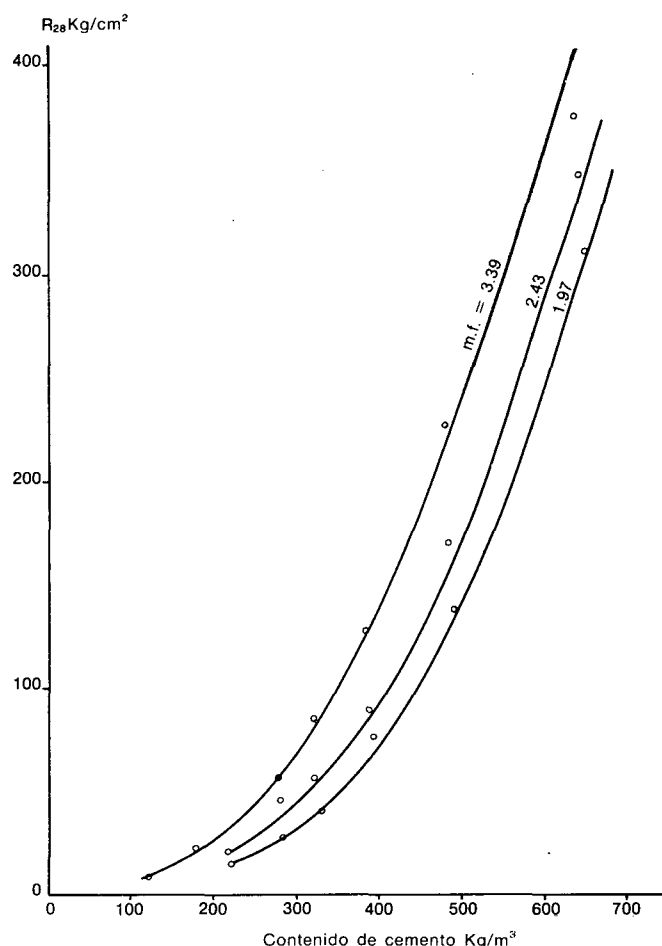


GRAFICO 2.  $R_{28}$  vs. Contenido de cemento. Morteros plásticos.

misma fluidez, se ve que para igual contenido de cemento ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ) se obtiene mayor resistencia con la arena más gruesa; o para obtener una resistencia determinada se requiere mayor cantidad de cemento en cuanto la arena sea más fina (menor módulo de finura). No obstante debe anotarse que las diferencias no son muy significativas en cuanto al contenido de cemento tratándose de una misma arena con mezclas flúida y plástica. Esto es claro si notamos que no es fácil diferenciar dos curvas (una para cada fluidez) en el gráfico N° 3. Igual ocurre cuando se analiza cualquiera de las otras dos arenas estudiadas.

**Relación de la resistencia a los 28 días ( $R_{28}$ ) y la resistencia en el ensayo rápido ( $R_{ER}$ ):**

Aún cuando el ensayo rápido utilizado difiere en los tiempos a los indicados por las normas (se hizo con 19 horas de reposo del cilindro después de fundido, 4 horas de tratamiento térmico y 20 horas después del tratamiento hasta el refrentado y ensayo, en vez de 19, 4 y 1 respectivamente), se presenta aquí la correlación encontrada con el método de los mínimos cuadrados:

$R_{28} = 3.08R_{ER} + 10.11$  para resistencias en  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  y con un coeficiente de determinación de 0.994. Por la razón indicada, la expresión puede resultar no ajustada totalmente a las encontradas hasta el momento para el hormigón. No obstante, la correlación hallada sí se ajusta bastante bien a la

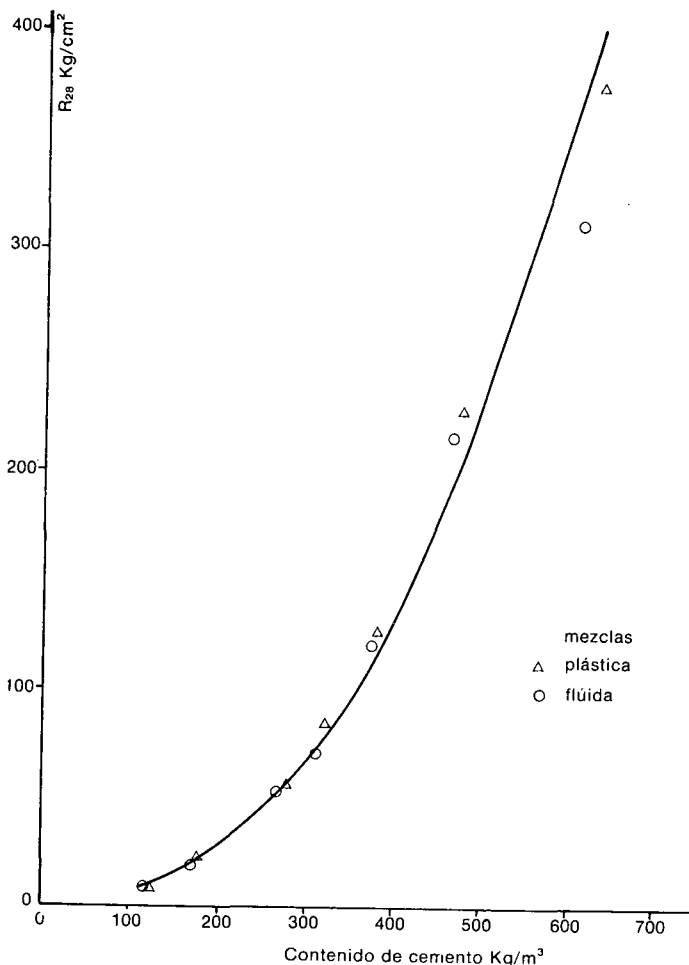


GRAFICO 3.  $R_{28}$  vs. Contenido de cemento. Tunjuelito — m.f. = 3.39.

ecuación de una línea recta (gráfico N° 4), aunque el número de datos disponible (12) puede considerarse insuficiente.

**Relación de la resistencia a los 28 días con las resistencias a los 3 y a los 7 días:**

Con el objeto de calcular la resistencia probable a los 28 días se han hallado las siguientes expresiones en función de las resistencias a 3 ó 7 días ( $R_3$  o  $R_7$ ). En todos los casos para resistencias en  $\text{Kg}/\text{cm}^2$ :

$$R_{28} = 2.53 R_3 + 16.88$$

$$R_{28} = 1.48 R_7 + 11.58 \text{ ó}$$

$$R_{28} = R_3 + 11.77\sqrt{R_3}$$

$$R_{28} = R_7 + 5.24\sqrt{R_7}$$

Las primeras fórmulas indicadas corresponden a líneas rectas con coeficientes de determinación de 0.973 y 0.990 respectivamente, por consiguiente más apropiada la segunda expresión (gráficos N° 5 y 6); en tanto que las segundas se han ajustado a la fórmula de Slater que dice:

$$R_{28} \text{ (probable)} = R_7 + k\sqrt{R_7},$$

donde k es un factor que depende esencialmente del cemento. Para el presente trabajo se han encontrado los valores promedios para los 37 datos disponibles, y la dispersión de este valor puede considerarse grande (coeficiente de variación de k,  $CV = \sigma/\bar{X}$ , de 43% y 40% para las expresiones en

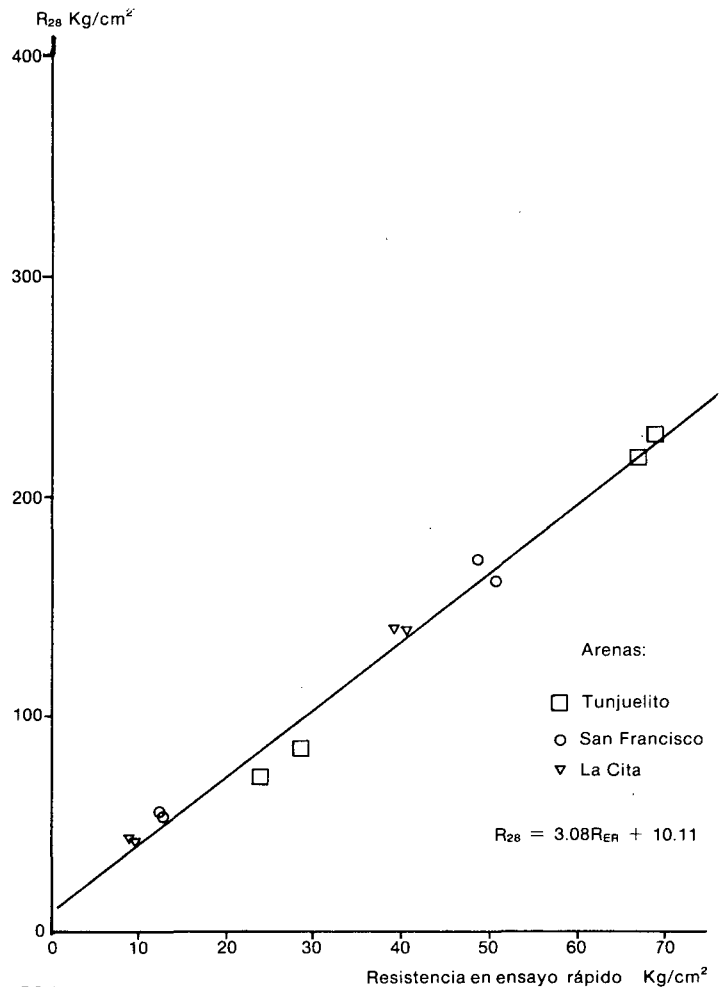


GRAFICO 4.  $R_{28}$  vs.  $R_{ER}$ .

función de  $R_3$  y  $R_7$ , respectivamente).

**Resistencia y tamaño del cilindro:**

Respecto del tamaño de cilindros y su influencia en la resistencia se puede anotar lo siguiente: mediante el método de los mínimos cuadrados se halló la expresión que da la resistencia a los 28 días en el cilindro pequeño (7.5 X 15 cm.) en función de la resistencia a los 28 días en el cilindro grande (15 X 30 cm.); esta expresión es:

$$R_{28(7.5 \times 15)} = 1.01 R_{28(15 \times 30)} - 1.43,$$

para resistencias en Kg/cm<sup>2</sup>. Nótese que esta relación implica que el efecto del tamaño del cilindro en la resistencia a la compresión del mortero es mínimo, y tal como lo señala el gráfico N<sup>o</sup> 7, la expresión encontrada representa una recta sensiblemente cercana a la de 45<sup>o</sup> (con un coeficiente de determinación de 0.993). Esto lleva a pensar que no se cometen grandes errores evaluando resistencias de morteros mediante el uso de cilindros con 7.5 cm. de diámetro y 15 cm. de altura que son muy manejables y prácticos sobre todo si se trata de gran cantidad de muestras las que se deben tomar para una investigación específica.

**Resistencia y relación agua/cemento (A/C):**

Con el mortero ocurre, al igual que con el hormigón, que la resistencia a la compresión varía en relación inversa con la relación A/C; esto se hace evidente en la curva presentada en el gráfico N<sup>o</sup> 8. Se ha

encontrado que la expresión que representa la curva formada con la totalidad de los datos (38) es de la forma de las curvas de potencia,  $y = ax^b$ ; encontrándose los siguientes valores:  $a = 68.45$  y  $b = -2.28$ , es decir,  $R_{28} = 68.45 (A/C)^{-2.28}$  curva para la cual el coeficiente de determinación es  $r^2 = 0.956$  para resistencias en Kg/cm<sup>2</sup>.

Si se analiza independientemente cada arena se obtienen las siguientes expresiones, con los coeficientes de determinación indicados entre paréntesis:

Tunjuelito:  $R_{28} = 73.49 (A/C)^{-2.13}$ , ( $r^2 = 0.989$ )  
 San Francisco:  $R_{28} = 73.08 (A/C)^{-2.23}$ , ( $r^2 = 0.980$ )  
 La Cita:  $R_{28} = 58.35 (A/C)^{-2.87}$ , ( $r^2 = 0.961$ )

Se observa que hay una significativa diferencia en los valores tanto del exponente como del coeficiente, para el caso de la arena más fina (La Cita). No obstante se nota que sería posible, una vez más, generalizar la expresión quedando de la forma:  $R_{28} = 73 (A/C)^{-x}$ , con  $x$  variando según la finura de la arena; menor valor de  $x$  para mayores módulos de finura.

Adoptando el valor del coeficiente como 73, para el caso de la arena de La Cita, y con base en los resultados obtenidos para esa arena, se encontró que el exponente sería del orden de -2.58, el cual se acomoda mejor a la secuencia sugerida por las dos primeras expresiones.

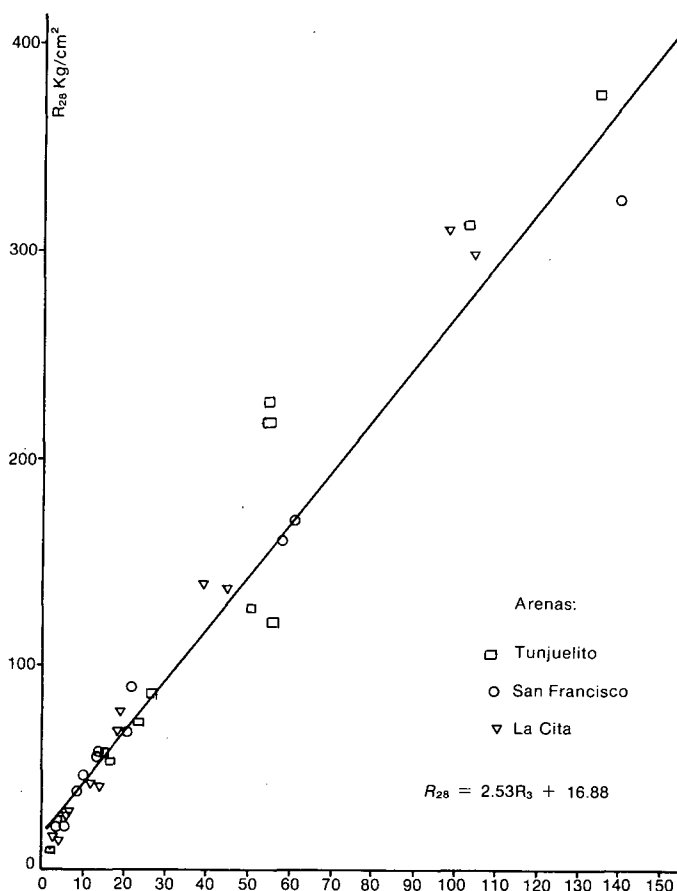


GRAFICO 5.  $R_{28}$  vs.  $R_3$ .

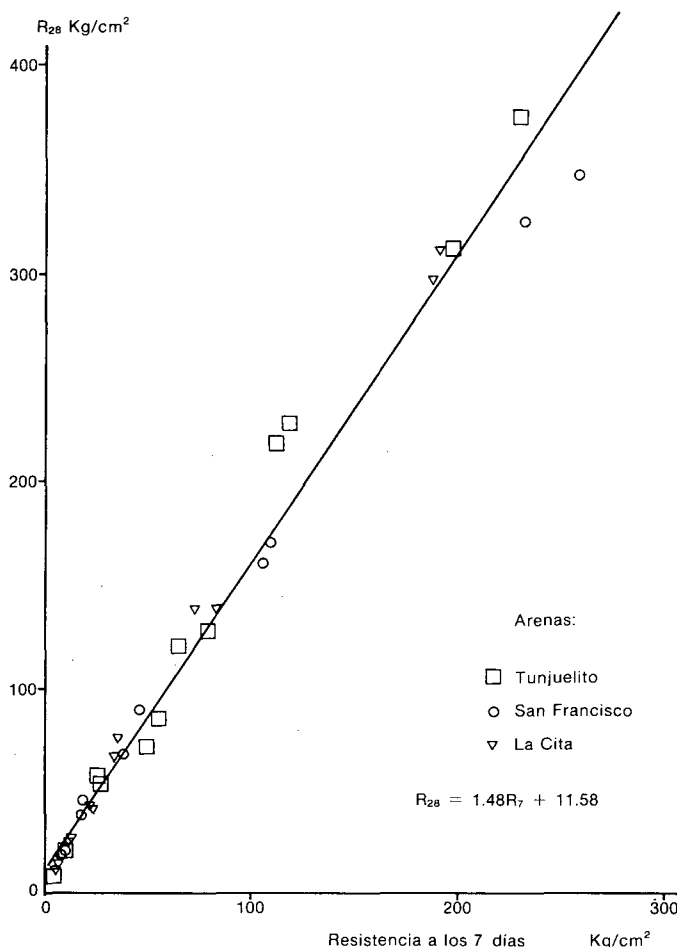


GRAFICO 6.  $R_{28}$  vs.  $R_7$ .

**CONCLUSIONES**

La resistencia a la compresión del mortero se ve afectada por múltiples factores entre los cuales se analizaron en el trabajo los siguientes:

- Proporción cemento:arena (1:n): en tanto la mezcla sea más rica en cemento (menor valor de n) su resistencia a la compresión será mayor, y su variación es de forma exponencial.
- Finura de la arena (módulo de finura): presentan mayor resistencia los morteros diseñados con arenas de alto módulo de finura, es decir las arenas gruesas, contrariamente a los diseñados con arenas de bajos módulos de finura.
- Fluidez del mortero: aun cuando es un factor cuya incidencia no es tan marcada como las anteriores, se encontró que las mezclas plásticas (fluidez normal) presentan mayor resistencia que las mezclas fluidas.

Considerando el amplio rango de valores de resistencia a la compresión que es posible obtener en la práctica del diseño de morteros se cree necesario que la persona encargada de su diseño lo emprenda basado en el conocimiento de la resistencia requerida en la obra específica y de las características físicas esenciales de la arena con que él se hará. Así, con esos datos básicos le será posible escoger la más apropiada dosificación del mortero. Con este fin, y pensando que pueden ser de utilidad para

diseñar morteros con el método planteado, se presentan a modo de conclusión dos gráficos cuyo uso será ilustrado mediante un ejemplo. El primero contiene las curvas de resistencia a los 28 días vs. contenido de cemento para cuatro diferentes módulos de finura (2.0; 2.5; 3.0; 3.5) en tanto que el segundo, presenta una curva que proporciona los valores aproximados de la relación A/C en función de la resistencia a los 28 días.

Ejemplo de diseño:

Se trata de diseñar un mortero de resistencia aproximada de 140 Kg/cm<sup>2</sup>.

- La arena presenta las siguientes características:  
Módulo de finura, M.F. = 2.5  
Densidad aparente seca,  $d_a = 2.54 \text{ gr/cm}^3$ .
- Densidad del cemento,  $d_c = 3.05 \text{ gr/cm}^3$ .

Del gráfico N<sup>o</sup> 9 ( $R_{28}$  vs. contenido de cemento):  
Para  $R_{28} = 140 \text{ Kg/cm}^2$  y M.F. = 2.5 se obtiene  $c = 460 \text{ Kg/m}^3$ .

Del gráfico N<sup>o</sup> 10 ( $R_{28}$  vs. A/C):  
Para  $R_{28} = 140 \text{ Kg/cm}^2$  se obtiene  $A/C = 0.68$   
Como  $A/C = 0.68$  entonces:  $A = 0.68 \times 460 = 312.8 \text{ Kg/m}^3$ .

Cálculo de volúmenes:

- Volumen de cemento,  $V_c = 460/3.05 = 151 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ .
- Volumen de agua,  $V_a = 313 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ .
- Volumen de arena,  $V_a = 1000 - (151 + 313) = 536 \text{ dm}^3/\text{m}^3$ .

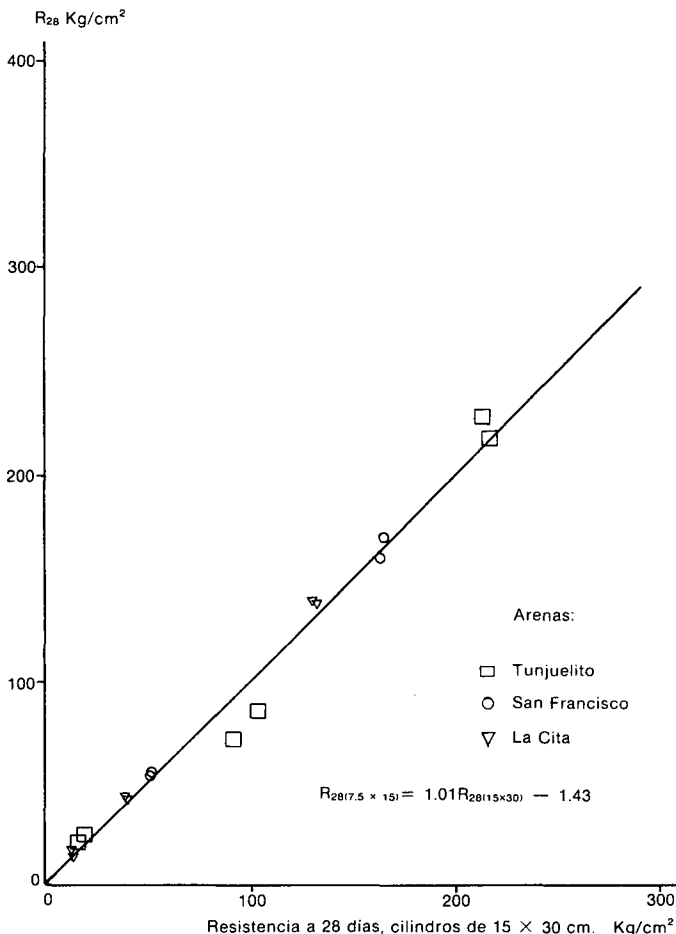


GRAFICO 7.  $R_{28(17.5 \times 15)}$  vs.  $R_{28(15 \times 30)}$

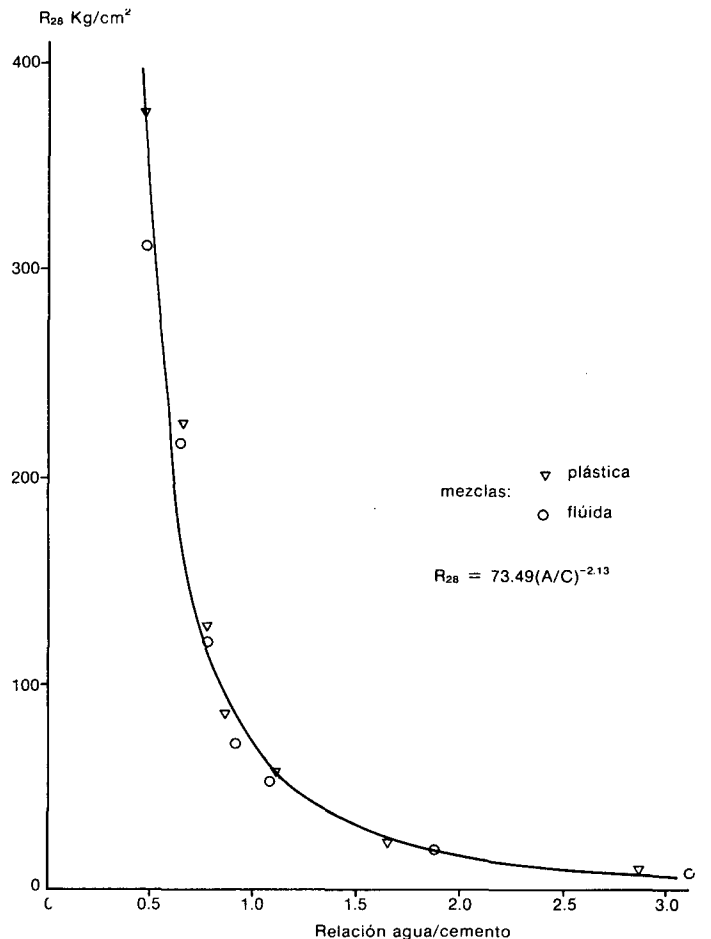


GRAFICO 8.  $R_{28}$  vs. (A/C), Tunjuelito — M.F. = 3.39.

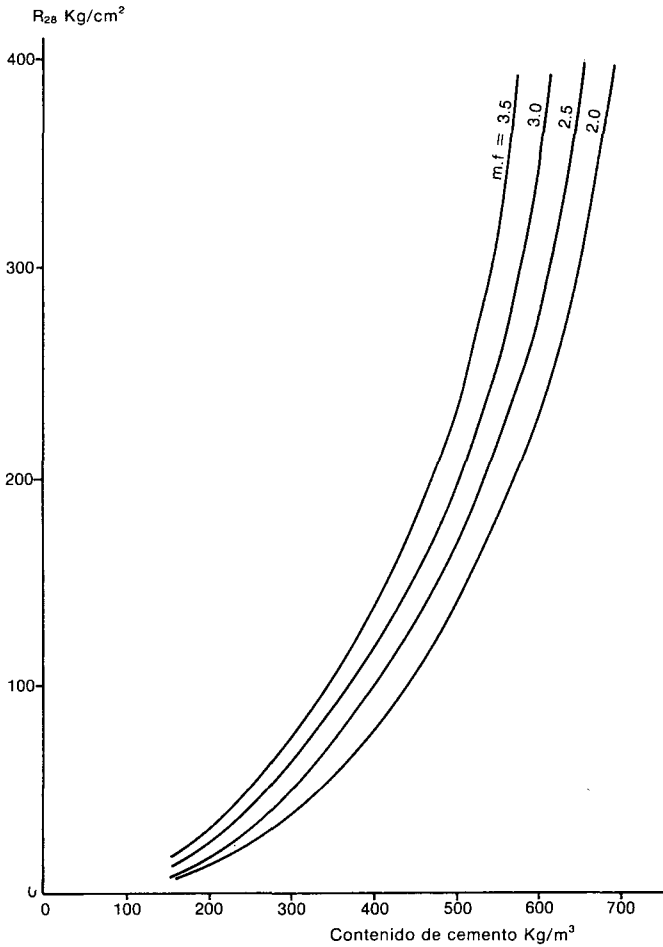


GRAFICO Nº 9.  $R_{28}$  vs. Contenido de cemento, según módulo de finura.

en consecuencia:  $a = 536 \text{ dm}^3/\text{m}^3 \times 2.54 \text{ Kg}/\text{dm}^3 = 1361 \text{ Kg}/\text{m}^3$ .

En resumen la dosificación (en peso) sería:

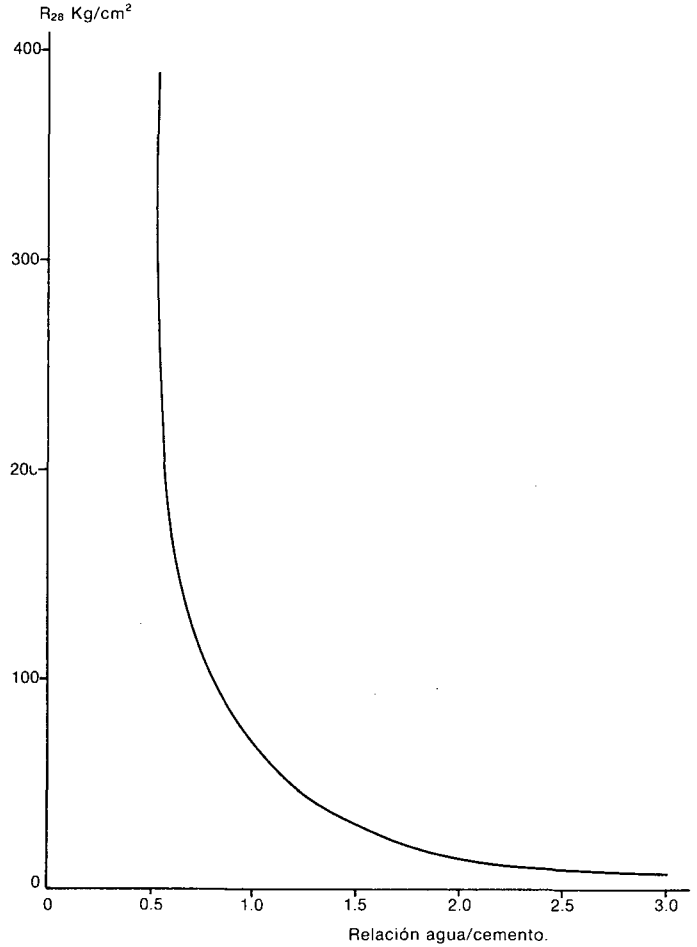


GRAFICO Nº 10.  $R_{28}$  vs. (A/C).

- Cemento: 460 Kg/m<sup>3</sup>
- Arena: 1361 Kg/m<sup>3</sup>
- Agua: 313 litros/m<sup>3</sup>

### BIBLIOGRAFIA

Salamanca Correa, Rodrigo. "Dosificación de morteros. Diseño de mezclas en mortero". Proyecto de grado para optar al título de ingeniero civil. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 1984.

Sandino Pardo, Alejandro. "Materiales para Estructuras". Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá. Sin fecha.