

# Dosificación de hormigones en las obras de riegos del Alto Aragón<sup>(1)</sup>

## II

### Otros hormigones. Estudios del Dr. Abrahams

El árido de los hormigones de resistencia admite una mayor elasticidad en su graduación, siendo, sin embargo, más completo el problema a resolver. El Dr. Abrahams, del Instituto Lewis, de Chicago, ha podido demostrar, después de una serie de cincuenta mil ensayos, las siguientes conclusiones:

1.<sup>a</sup> El módulo de finura da la manera más práctica de fabricar un hormigón graduado de máxima resistencia.

2.<sup>a</sup> Hay una íntima relación entre el módulo de finura y la cantidad de agua requerida para obtener un hormigón trabajable.

3.<sup>a</sup> Para una relación constante del agua al cemento y de éste al volumen de árido, la resistencia es constante si el módulo de finura es siempre el mismo.

4.<sup>a</sup> Para una dosificación de cemento dada, existe un valor del módulo de finura que da la mayor resistencia.

5.<sup>a</sup> La relación entre el agua y el cemento, para una mezcla dada, es el factor de mayor importancia para la resistencia. Para la misma mezcla, aumenta la resistencia al disminuir el agua empleada.

Por estas conclusiones se ve cuán difícil es llegar, con materiales dados, a obtener el hormigón más económico: máxima resistencia, mínimo volumen de cemento y mínimo coste de mano de obra.

Es, sin embargo, muy importante, sobre todo en obras donde son grandes los volúmenes de hormigón a ejecutar, el dosificarlos de manera que se obtenga economía de cemento sin encarecer la mano de obra. Esto no es de fácil consecución, ya que intervienen varios factores que obran en sentido contrario unos de otros y cuyas características permanecen una vez que se han admitido en las mezclas.

### Trabajos de laboratorio

Expondremos sucintamente los trabajos que se han ejecutado en el laboratorio de estas obras, bien entendido que no obedecen ciegamente a normas preestablecidas e importadas.

Definiremos primeramente los dos factores que han de servir de base a la conservación de las características del hormigón: módulo de finura y fluidez.

**Módulo de finura.**—El Dr. Abrahams define el módulo de finura diciendo que es la suma, dividida por ciento, de los tantos por cientos retenidos en los tamices de una serie tal que cada uno de ellos tenga doble abertura (cuádruple superficie) que el anterior; es decir, los tamices impares de la llamada serie de Taylor. Si miramos la figura 10, cuyas curvas están dibujadas según se detalló anteriormente, veremos que estos tantos por cientos representan la relación del área  $abc$  al área  $aejd$  y, por tanto, su suma

será la relación entre las áreas  $ABCD$  y  $AEFD$  multiplicada por el número de tamices empleados. En realidad, el tanto por ciento es la expresión del área  $abcd$  tomando como unidad la  $aejd$ , de modo que el área  $ABCD$  en unidades  $aejd$ , es la expresión del módulo de finura. Empleando siempre los mismos gráficos, bastará para la comparación medir las  $ABCD$ , siempre en la misma escala.

El módulo de finura es elemento de mucha importancia: es el indicador de la constancia de resistencia del hormigón. En efecto, si para una mezcla dada y un módulo de finura determinado hemos fijado una cantidad de agua que proporciona un hormigón trabajable económicamente y de la resistencia necesaria, al variar el módulo de finura variará, según la segunda regla citada, el factor de trabajabilidad; esto hace temer que, instintivamente, se aumente el agua, para facilidad del manejo, con perjuicio de la resistencia del hormigón; pues bien, comprobando el módulo de finura se elimina este riesgo.

No obstante, hemos de tener en cuenta que el agua no debe ser siempre la misma, ya que los materiales, acopiados de ordinario a la intemperie, pueden tener mayor o menor grado de humedad. Para eliminar esta duda, fijamos el agua por medio de otro factor: la fluidez.

**Fluidez.**—Después de varios sistemas empleados para medirla, parece ser que el de mejores resultados ha sido el siguiente: sobre una mesa (como la que aparece en la fotografía de la figura 11), cuyo tablero está sujeto por un vástago que se levanta por medio de una leva colocada sobre el eje horizontal, se coloca un molde de forma tronco-cónica de 30 cm de diámetro su base mayor, 20 la menor y 15 la altura; una vez lleno el molde, y quitando éste, se dan con el manubrio quince vueltas, causa de quince golpes, siempre cayendo de la misma altura, que desparraman la masa, aumentando el diámetro de la misma, y la relación de este diámetro al primitivo, multiplicada por cien, mide la fluidez. Este método de medir la fluidez es bastante preciso, como puede verse en los cuadros que se presentan más adelante, donde, para pequeñas variaciones del módulo de finura e igual mezcla, al mismo volumen de agua corresponden fluideces casi iguales.

Con esta comprobación, unida desde luego a la del módulo de finura, regularemos el agua, obteniendo siempre una relación constante de cemento, aumentándola cuando los materiales están secos y disminuyéndola cuando están húmedos. Hemos de advertir que es imprescindible hacer la comprobación conjunta del módulo de finura y fluidez si se quiere asegurar la constante calidad del hormigón y no incurrir en el error de aumentar agua cuando se debe aumentar módulo de finura, y viceversa.

Definidos estos dos factores, hemos estudiado los módulos de finura de las gravas y arenas disponibles en las obras. Desde luego, el máximo tamaño de la grava, que conviene sea el mayor posible, se ha fijado en 106 mm para los hormigones en masa y en 60 mm para los armados, procurando emplearlos en espesores que sean al menos vez y media su máxi-

(1) Véase la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS número 2411, página 297.

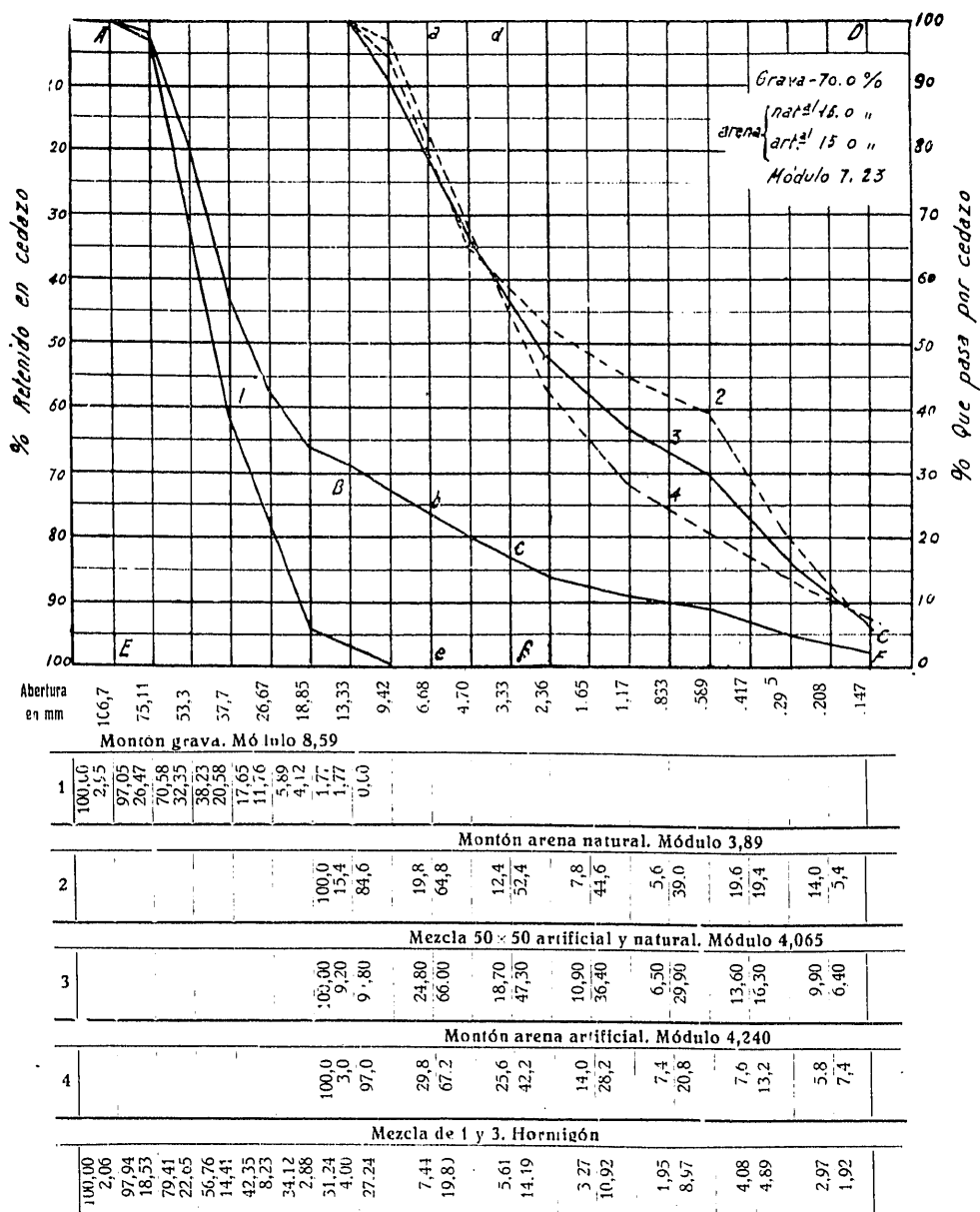


Fig. 10. Acueducto Valdespartera: Análisis mecánico de grava, arena artificial y natural. Serie P.

ma dimensão, para tener la seguridad de que no quedan las piedras en contacto del paramento.

Con morteros y hormigones dosificados ligeramente se estudió la relación de la fluidez con una mezcla trabajable. Para ello, después de determinada la fluidez, se colocaba en moldes, donde se hacía la observación de la mayor o menor facilidad de trabajo, procurando reducir el apisonado a un mínimo: la fluidez que da una mezcla trabajable es de 170 o más. Un hormigón más seco, aunque más resistente, es más caro, por el enérgico apisonado que necesita.

Se distribuyeron los ensayos en tres grupos, dos de hormigón en masa y uno armado, aplicándoles cargas de trabajo máximas en relación con las necesarias en las obras proyectadas. Los grupos y sus cargas de trabajo fueron:

| Grupo  | Kgs por cm <sup>2</sup> |
|--|-------------------------|
| P (Elementos de poca resistencia) . . . . .                  | 18                      |
| B (Bóvedas y elementos sometidos a grandes cargas) . . . . . | 60                      |
| A (Hormigón armado) . . . . .                                | 45                      |

(Estas cargas, multiplicadas por el coeficiente de seguridad, son los límites de trabajo en cada lugar de

las estructuras). La cuestión que enseguida se ofrece es ésta: determinar las cantidades de cemento y de

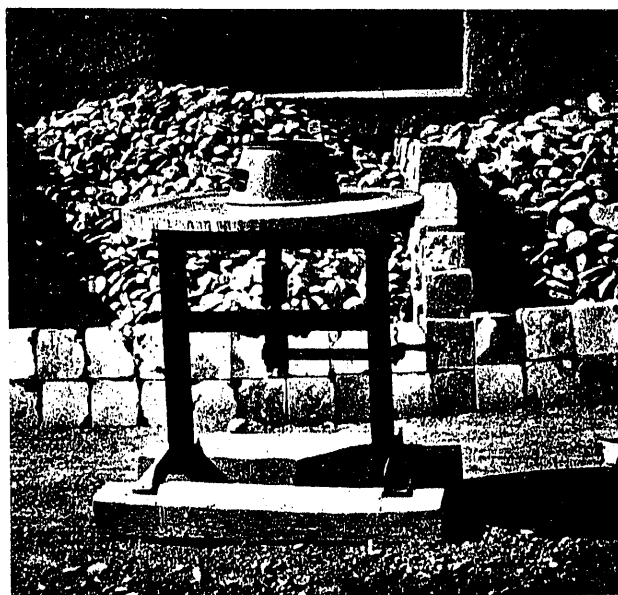


Fig. 11. Mesa para la determinación de la fluidez de un hormigón.

agua que deben agregarse al árido para obtener la mezcla más económica entre las *trabajables*. Esto, en parte, se facilita ya por la existencia de los factores conocidos, pues bastará poner cantidades crecientes de hormigón desde un mínimo, darle el agua necesaria para obtener la fluidez de 170 y, al pasar por la mezcla que dé la resistencia necesaria, detenerse; ésta será la más económica, para los materiales que se han de usar.

Previos estos ensayos se practicaron los definiti-

vos, haciendo oscilar los módulos de finura entre los límites máximos encontrados, y también el agua para precisar un margen de tolerancia, fijando el agua en litros y anotando la fluidez resultante. En los cuadros siguientes se presentan los resultados obtenidos. En ellos se indican la proporción de la mezcla en volúmenes de cemento de árido, el módulo de finura, la dosificación por metro cúbico, el agua en litros, la fluidez, las cargas de rotura a los veintiocho y noventa días y la densidad.

### Grupo P

| Mezcla de volúmenes | Serie               | Módulo de finura | DOSIFICACION POR METRO CUBICO DE HORMIGON |               |                  |         | H <sup>o</sup> O | Fluidez | Carga de rotura 28 días | Carga de rotura 90 días | Densidad |  |  |  |  |
|---------------------|---------------------|------------------|---|---------------|------------------|---------|------------------|---------|-------------------------|-------------------------|----------|--|--|--|--|
|                     |                     |                  | Grava                                     | Arena natural | Arena artificial | Cemento |                  |         |                         |                         |          |  |  |  |  |
|                     |                     |                  | Litros                                    | Litros        | Litros           | Kgs.    |                  |         |                         |                         |          |  |  |  |  |
| 1 × 7               | P <sub>1</sub> ---2 | 6,95             | 910                                       | 212           | 212              | 150     | 150              | 128,8   | 127                     | 151                     | 2,44     |  |  |  |  |
|                     | P <sub>1</sub> ---3 | 6,95             |   |               |                  |         | 165              | 167,6   | 112                     | 125                     | 2,45     |  |  |  |  |
|                     | P <sub>1</sub> ---4 | 6,95             |   |               |                  |         | 180              | 188,7   | 78                      | 113                     | 2,45     |  |  |  |  |
|                     | P <sub>2</sub> ---2 | 7,25             |   |               |                  |         | 150              | 145,0   | 154                     | 176                     | 2,48     |  |  |  |  |
|                     | P <sub>2</sub> ---3 | 7,25             |   |               |                  |         | 165              | 172,0   | 98                      | 137                     | 2,46     |  |  |  |  |
|                     | P <sub>2</sub> ---4 | 7,25             |   |               |                  |         | 180              | 187,0   | 92                      | 128                     | 2,43     |  |  |  |  |
|                     | P <sub>3</sub> ---2 | 6,37             |   |               |                  |         | 150              | 136,0   | 171                     | 181                     | 2,47     |  |  |  |  |
|                     | P <sub>3</sub> ---3 | 6,37             |   |               |                  |         | 165              | 151,0   | 123                     | 143                     | 2,46     |  |  |  |  |
|                     | P <sub>3</sub> ---4 | 6,37             |   |               |                  |         | 180              | 177,0   | 125                     | 150                     | 2,45     |  |  |  |  |
|                     | Kgs. por cm cuad    |                  |   |               |                  |         |                  |         |                         |                         |          |  |  |  |  |

### Grupo B

| Mezcla de volúmenes | Serie               | Módulo de finura | DOSIFICACION POR METRO CUBICO DE HORMIGON |               |                  |         | H <sup>o</sup> O | Fluidez      | Carga de rotura 28 días | Carga de rotura 3 meses | Densidad     |
|---------------------|---------------------|------------------|---|---------------|------------------|---------|------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|--------------|
|                     |                     |                  | Grava                                     | Arena natural | Arena artificial | Cemento |                  |              |                         |                         |              |
|                     |                     |                  | Litros                                    | Litros        | Litros           | Kgs     |                  |              |                         |                         |              |
| 1 × 6               | B <sub>1</sub> ---2 | 7,19             | 944,2                                     | 209,8         | 194,2            | 176,3   | 123,6            | 108,4        | 182,7                   | 223,3                   | 2,474        |
|                     | B <sub>1</sub> ---3 | 7,19             |   |               |                  |         | 164,8            | 179,0        | 108,0                   | 139,6                   | 2,423        |
|                     | B <sub>2</sub> ---2 | 7,36             |   |               |                  |         | 123,6            | 101,6        | 260,9                   | 254,2                   | 2,492        |
|                     | B <sub>2</sub> ---3 | 7,36             |   |               |                  |         | 164,8            | 183,8        | 167,1                   | 218,9                   | 2,457        |
|                     | B <sub>3</sub> ---2 | 6,55             |   |               |                  |         | 123,6            | 104,8        | 198,2                   | 263,2                   | 2,491        |
|                     | B <sub>3</sub> ---3 | 6,55             |   |               |                  |         | 164,8            | 184,0        | 181,0                   | 179,7                   | 2,469        |
| 1 × 5               | B <sub>4</sub> ---1 | 7,30             | 941,6                                     | 181,8         | 175,3            | 205,6   | 96,0             | 101,9        | 215,8                   | 276,7                   | 2,488        |
|                     | B <sub>4</sub> ---2 | 7,30             |   |               |                  |         | 134,5            | 119,3        | 201,0                   | 244,8                   | 2,471        |
|                     | B <sub>4</sub> ---3 | 7,30             |   |               |                  |         | <b>172,9</b>     | <b>200,0</b> | <b>127,1</b>            | <b>172,5</b>            | <b>2,414</b> |
|                     | B <sub>4</sub> ---4 | 7,30             |   |               |                  |         | 192,1            | 227,4        | 133,5                   | 130,4                   | 2,407        |
|                     | B <sub>5</sub> ---1 | 7,48             |   |               |                  |         | 96,0             | 104,8        | 257,4                   | 284,3                   | 2,492        |
|                     | B <sub>5</sub> ---2 | 7,48             |   |               |                  |         | 134,5            | 129,0        | 206,0                   | 232,8                   | 2,471        |
|                     | B <sub>5</sub> ---3 | 7,48             |   |               |                  |         | <b>172,9</b>     | <b>179,0</b> | <b>192,3</b>            | <b>253,4</b>            | <b>2,451</b> |
|                     | B <sub>5</sub> ---4 | 7,48             |   |               |                  |         | 192,1            | 225,8        | 122,2                   | 166,8                   | 2,447        |
|                     | B <sub>6</sub> ---1 | 6,66             |   |               |                  |         | 96,0             | 103,0        | 270,8                   | 289,2                   | 2,517        |
|                     | B <sub>6</sub> ---2 | 6,66             |   |               |                  |         | 134,5            | 110,0        | 225,9                   | 280,3                   | 2,493        |
|                     | B <sub>6</sub> ---3 | 6,66             |   |               |                  |         | <b>172,9</b>     | <b>170,0</b> | <b>184,1</b>            | <b>213,7</b>            | <b>2,457</b> |
|                     | B <sub>6</sub> ---4 | 6,66             |   |               |                  |         | 192,1            | 223,6        | 185,6                   | 179,3                   | 2,450        |
| 1 × 4               | B <sub>7</sub> ---1 | 7,35             | 913,0                                     | 173,9         | 161,5            | 244,3   | 159,8            | 159,7        | 142,6                   | 189,3                   | 2,423        |
|                     | B <sub>7</sub> ---2 | 7,35             |   |               |                  |         | 228,1            | 238,7        | 111,8                   | 149,0                   | 2,398        |
|                     | B <sub>7</sub> ---3 | 7,35             |   |               |                  |         | 205,5            | 204,8        | 138,3                   | 163,4                   | 2,407        |
|                     | B <sub>8</sub> ---1 | 7,54             |   |               |                  |         | 159,8            | 169,3        | 176,0                   | 187,8                   | 2,456        |
|                     | B <sub>8</sub> ---2 | 7,54             |   |               |                  |         | 228,1            | 232,2        | 137,0                   | 159,9                   | 2,400        |
|                     | B <sub>8</sub> ---3 | 7,54             |   |               |                  |         | 205,5            | 187,0        | 216,2                   | 216,2                   | 2,444        |
|                     | B <sub>9</sub> ---1 | 6,71             |   |               |                  |         | 159,8            | 162,9        | 230,3                   | 260,9                   | 2,438        |
|                     | B <sub>9</sub> ---2 | 6,71             |   |               |                  |         | 228,1            | 238,3        | 179,7                   | 196,0                   | 2,447        |
|                     | B <sub>9</sub> ---3 | 6,71             |   |               |                  |         | 205,5            | 196,2        | 243,9                   | 269,2                   | 2,465        |

Grupo A

| Mezcla de volúmenes | Serie              | Módulo de finura | Gravilla<br>—<br>Litros | Arena natural<br>—<br>Litros | Arena artificial<br>—<br>Litros | Cemento<br>—<br>Kgs | Agua<br>—<br>Litros | Fluidez | Carga de rotura |         | Densidad | OBSERVACIONES             |       |       |       |       |
|---------------------|--------------------|------------------|-------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------|---------------------|---------|-----------------|---------|----------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                     |                    |                  |                         |                              |                                 |                     |                     |         | 28 días         | 3 meses |          |                           |       |       |       |       |
|                     |                    |                  |                         |                              |                                 |                     |                     |         | Kgs por cm cuad |         |          |                           |       |       |       |       |
| 1 x 4               | A <sub>1</sub> — 1 | 6,22             | 807,604                 | 266,878                      | 247,865                         | 242,712             | 218,42              | 190,30  | 99,30           | 130,40  | 2,344    | Perfectamente trabajable. |       |       |       |       |
|                     | A <sub>1</sub> — 3 | 6,22             |                         |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           | 2,387 |       |       |       |
|                     | A <sub>1</sub> — 4 | 6,22             |                         |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       | 2,389 |       |       |
|                     | A <sub>3</sub> — 1 | 5,95             |                         |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       | 2,385 |       |
|                     | A <sub>3</sub> — 3 | 5,95             |                         |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       | 2,481 |
|                     | A <sub>3</sub> — 4 | 5,95             |                         |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>2</sub> — 1  | 6,36               | 2,374            |                         |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>2</sub> — 3  | 6,36               |                  | 2,386                   |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>2</sub> — 4  | 6,36               |                  |                         | 2,402                        |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>4</sub> — 1  | 6,32               |                  |                         |                              | 2,334                           |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>4</sub> — 3  | 6,32               |                  |                         |                              |                                 | 2,365               |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>4</sub> — 4  | 6,32               |                  |                         |                              |                                 |                     | 2,365               |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>5</sub> — 1  | 6,45               | 2,370            |                         |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>5</sub> — 3  | 6,45               |                  | 2,355                   |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>5</sub> — 4  | 6,45               |                  |                         | 2,366                        |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>6</sub> — 1  | 6,06               |                  |                         |                              | 2,380                           |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>6</sub> — 3  | 6,06               |                  |                         |                              |                                 | 2,395               |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>6</sub> — 4  | 6,06               |                  |                         |                              |                                 |                     | 2,406               |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>7</sub> — 1  | 6,42               | 2,295            |                         |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>7</sub> — 2  | 6,42               |                  | 2,361                   |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>7</sub> — 3  | 6,42               |                  |                         | 2,315                        |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>7</sub> — 4  | 6,42               |                  |                         |                              | 2,336                           |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>8</sub> — 1  | 6,55               |                  |                         |                              |                                 | 2,320               |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>8</sub> — 2  | 6,55               |                  |                         |                              |                                 |                     | 2,348               |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>8</sub> — 3  | 6,55               | 2,322            |                         |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>8</sub> — 4  | 6,55               |                  | 2,355                   |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>9</sub> — 2  | 6,17               |                  |                         | 2,396                        |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>9</sub> — 3  | 6,17               |                  |                         |                              | 2,352                           |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A <sub>9</sub> — 4  | 6,17               |                  |                         |                              |                                 | 2,376               |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>1</sub> — 1 | 6,44               |                  |                         |                              |                                 |                     | 2,404               |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>1</sub> — 3 | 6,44               | 2,417            |                         |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>1</sub> — 4 | 6,44               |                  | 2,442                   |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>2</sub> — 1 | 6,68               |                  |                         | 2,412                        |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>2</sub> — 3 | 6,68               |                  |                         |                              | 2,423                           |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>2</sub> — 4 | 6,68               |                  |                         |                              |                                 | 2,430               |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>3</sub> — 1 | 6,28               |                  |                         |                              |                                 |                     | 2,405               |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>3</sub> — 3 | 6,28               | 2,410            |                         |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>3</sub> — 4 | 6,28               |                  | 2,426                   |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>4</sub> — 1 | 6,55               |                  |                         | 2,389                        |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>4</sub> — 3 | 6,55               |                  |                         |                              | 2,383                           |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>4</sub> — 4 | 6,55               |                  |                         |                              |                                 | 2,435               |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>5</sub> — 1 | 6,77               |                  |                         |                              |                                 |                     | 2,375               |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>5</sub> — 3 | 6,77               | 2,420            |                         |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>5</sub> — 4 | 6,77               |                  | 2,430                   |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>6</sub> — 1 | 6,39               |                  |                         | 2,385                        |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>6</sub> — 3 | 6,39               |                  |                         |                              | 2,395                           |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>6</sub> — 4 | 6,39               |                  |                         |                              |                                 | 2,446               |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>7</sub> — 1 | 6,66               |                  |                         |                              |                                 |                     | 2,431               |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>7</sub> — 3 | 6,66               | 2,378            |                         |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>7</sub> — 4 | 6,66               |                  | 2,388                   |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>8</sub> — 2 | 6,89               |                  |                         | 2,420                        |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>8</sub> — 3 | 6,89               |                  |                         |                              | 2,362                           |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>8</sub> — 4 | 6,89               |                  |                         |                              |                                 | 2,403               |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>9</sub> — 2 | 6,50               |                  |                         |                              |                                 |                     | 2,405               |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>9</sub> — 3 | 6,50               | 2,379            |                         |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |
| A' <sub>9</sub> — 4 | 6,50               |                  | 2,397                   |                              |                                 |                     |                     |         |                 |         |          |                           |       |       |       |       |

NOTA.—La serie A tiene mayor proporción de arenas que la serie A' y se aproxima más a la proporción corriente de 800 x 400, pues la parte que nosotros consideramos arena, comprendida entre 0,42 y 5 mm, se considera, por regla general, como gravilla.

A las mismas cantidades de agua no corresponden las mismas fluideces, por el distinto estado de humedad de los materiales. Las cantidades de agua consignadas son las empleadas en el laboratorio.

En el grupo P, correspondiente al hormigón más pobre, sólo se ha estudiado una mezcla, que es la que se acepta.

En el grupo B se han estudiado tres mezclas, y el hormigón adoptado, en sus tres módulos de finura, es el subrayado.

En el grupo A se han estudiado siete mezclas, variando el módulo total para la mezcla de gravas y arenas en distintas proporciones. Se adoptó el subrayado.

Con objeto de poder calcular los módulos de finura totales por el conocimiento de los parciales de grava y arena, se dan en por cientos de peso las proporciones de una y otra en los hormigones adoptados.

|              |                               |                                       |
|--------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| Grupo P..... | { Grava, 70<br>Arena. ....    | { Natural, 15<br>Artificial, 15       |
| Grupo B..... | { Grava, 74<br>Arena. ....    | { Natural, 13<br>Artificial, 13       |
| Grupo A..... | { Gravilla, 69<br>Arena. .... | { Natural, 15,50<br>Artificial, 15,50 |

Obsérvese que proponemos el empleo de mezclas, por partes iguales, de arena natural y artificial; la razón es la siguiente: la arena natural, por regla general, tiene un módulo de finura más bajo que la artificial, lo que disminuye la resistencia; por otra parte, la arena artificial es regulable, siendo el elemento más fácil de variar para obtener una variación del módulo. Aunque sería más conveniente emplear sólo una artificial, no se propone porque encarecería mucho la mano de obra.

### Observaciones

Conviene hacer algunas observaciones o aclaraciones. La resistencia de un hormigón aumenta con el módulo de finura, pero no de una manera indefinida, sino que pasa, para una relación constante de agua y cemento, por un máximo que depende de la cantidad de cemento y que puede ser tanto mayor el módulo cuanto más rica sea la mezcla.

Resulta natural que esto ocurra, pues es imprescindible que la cantidad de mortero sea suficiente para rellenar los huecos del árido más grueso, y si faltaran los elementos pequeños, que disminuyen el volumen de huecos, aun poniendo el mismo cemento sería suficiente. Un ejemplo nos aclarará este punto: un metro cúbico de grava presenta 370 litros de huecos; este volumen de huecos se disminuye mezclando elementos de menor tamaño, y con 200 litros de cemento (mezcla de uno por cinco) se pueden envolver todos los elementos del árido; si se emplease sólo la grava (gran módulo de finura), los 200 litros de cemento (igual mezcla) no rellenarían los huecos, quedando piedras sin aglomerar.

Al proyectar una mezcla, debe tenerse en cuenta que el valor de la máxima resistencia (módulo y agua correspondientes) crece, como es natural, con la cantidad de cemento. Para obtener hormigones

muy resistentes, son necesarias mezclas ricas; pero debe tenerse cuidado de que módulo, agua y cemento sean los correspondientes a la máxima resistencia de esa mezcla, pues, de no ser así, con variación de esos elementos podría obtenerse mezcla más pobre y de igual resistencia. Es decir, si la primera mezcla estudiada no da su máximo, y es de resistencia suficiente, hay que buscar una más pobre, y si ésta lo es, es preferible.

A primera vista, parece que bastará mezclar gravas y arenas en proporciones convenientes para obtener un hormigón resistente con mezcla muy pobre, pero esto no es cierto: las mezclas pobres trabajables tienen un máximo de resistencia muy inferior al de las ricas. Por otra parte conviene, por carestía de mano de obra, emplear los materiales tal y como se encuentran, aun a costa de aumentar el cemento.

Prácticamente, si se puede disponer de laboratorio y tiempo, procede, sin duda, el tratamiento siguiente: se toman la grava y arena que se han de emplear y se mezclan en proporciones que den varios módulos de finura. Después, agua y cemento en proporciones constantes entre sí y suficientes para dar mezclas trabajables, se mezclan con los distintos módulos de finura. Para estas mezclas, se dibuja una curva que tenga por abscisas los módulos y por ordenadas las resistencias. Esta curva nos dará idea del módulo que corresponde al máximo.

Mezclando agua y cemento, con los módulos hallados, en otras proporciones, se obtendrá una serie de curvas que corresponderán a distintas mezclas, cada una de las cuales dará un máximo. (En cada punto obtenido puede anotarse la fluidez correspondiente.)

Como la relación agua a cemento puede ser variable para una misma mezcla, cada curva de las indicadas dará lugar a una nueva serie de curvas.

En resumen, una mezcla de uno por cuatro, por ejemplo, dará lugar a una serie de curvas que podrán representarse tomando como abscisas los módulos o las relaciones de agua a cemento y como ordenadas las resistencias por centímetro cuadrado. Si se toman como abscisas los módulos, se unen con una curva todos los resultados correspondientes a la misma cantidad de agua, resultando tantas curvas como proporciones se han puesto de este elemento. Si se toman como abscisas las relaciones de agua y cemento, se unirán los puntos correspondientes al mismo módulo, resultando tantas curvas como módulos.

En todas las curvas de cada punto debe acotarse el factor de trabajabilidad.

Estudio tan detallado fué imposible hacerlo en nuestro caso y, por apremios de tiempo, nos limitamos, según se ha dicho, a efectuar una serie de ensayos previos, que nos servirán de orientación y nos permitirán efectuar los definitivos sobre bases seguras.

La orientación es fácil, pues conocido el módulo de finura que da la resistencia máxima en la mezcla más pobre, en otras más ricas el módulo es mayor.

Este estudio, que debía hacerse tal vez para todas las obras de alguna importancia, es imposible para muchas, que no ofrecen margen económico para el montaje de un laboratorio. Convendría, sin embargo, facilitar el estudio de hormigones, y esto podría hacerse mediante un laboratorio que, con materiales de diversas procedencias y cementos nacionales, hicie-

ra una serie de ensayos y reuniera sus resultados en ábacos, a los cuales pudieran acudir los constructores de obras que no dispusieran de laboratorio. En este caso, podría reducirse el material de ensayos en

las obras a un juego de tamices y una mesa de fluidez, elementos suficientes para determinar las mezclas convenientes y conservar sus características durante la construcción.

José NUÑEZ CASQUETE  
Ingeniero de Caminos

## Muro de hormigón armado para contención de terrenos corredizos

En el artículo publicado en esta misma REVISTA, en su número de 1.º de julio, por mi compañero don Juan José Santa Cruz, con el título «Los corrimientos de terrenos en la provincia de Granada en relación con sus obras públicas», al hablar de las obras que pueden ser soluciones para la contención de tales terrenos, cita el muro construido por mí en las obras del ferrocarril Granada-Sierra Nevada, con un resultado excelente hasta la fecha, según ya se dice en dicho artículo. Por si efectivamente pudiera ésta ser una solución, como yo creo, voy a describir dicha obra, por si puede aplicarse a algún otro caso análogo.

La presencia de terrenos corredizos es frecuentísima en la provincia de Granada, siendo el caso más importante, entre los presentados a lo largo del trazado del ferrocarril mencionado, el situado en las proximidades del pueblo de Pinos Genil. En dicho punto tiene emplazada la Compañía General de Electricidad de Granada una de sus casas de máquinas, casa que se halla ubicada entre el río Genil y un cerro de bastante altura, estribación de Sierra Nevada.



Fot. 1.ª Vista del desprendimiento y de la faja existente entre la fábrica y el cerro antes de la construcción del muro

Por necesidades del negocio, dicha Compañía tuvo que ampliar su casa de máquinas, haciéndole falta, por tanto, aumentar la explanación, para lo que desmontó el pie del cerro. Falto de la suje-

ción natural que le daban las tierras, el cerro empezó a andar hasta llegar a apoyarse en los muros de la fábrica, sobre los que llegaron las tierras a alcanzar una altura de 4 a 5 m. La Compañía General, sin atreverse a resolver el problema de frente, se limitaba a retirar durante el verano los desprendimientos caídos durante el invierno, dejando una faja de un par de metros entre el cerro y los muros de la fábrica, que, como es natural, se cegaba con los primeros temporales del invierno siguiente, con lo que quedaba más en peligro la fábrica, ya que la brecha se hacía cada vez mayor y más alta y el efecto dinámico de las tierras en su caída era cada vez más peligroso, llegando a alcanzar el corrido, pequeño al principio, las proporciones que aparecen en la fotografía 1.ª

El ferrocarril Granada-Sierra Nevada, obligado, por conveniencias ineludibles de su trazado, a pasar por encima del corrido, veía, por su parte, con gran inquietud, que el vértice del corrido, que al principio estaba a más de 100 m de su explanación, había avanzado, durante los inviernos de 1922 y 1923, tan rápidamente, que se encontraba a unos 25 m en la primavera del año 23.

En este estado las cosas, me fué encargada por entonces la dirección de las obras del ferrocarril, ocupándome en el acto de buscarle solución al problema, pues era indudable que, de seguir así, el corrido llegaría hasta lo alto del cerro, tragándose la explanación del ferrocarril en su marcha ascendente.

Hice, por de pronto, algunos sondeos, para ver la constitución del cerro, pudiendo comprobar que la capa de arcilla, tan plástica que apenas se mojaba era imposible andar sobre ella sin enterrarse hasta la rodilla, reposaba sobre otra capa de arcilla ya más dura y muy profunda, sobre la que resbalaba la primera en cuanto las primeras lluvias creaban entre las dos una vena de agua, que sólo desaparecía por completo en el rigor del verano. Saqué, pues, la consecuencia de que había, por lo menos, que atravesar la primera capa de arcilla, de 3,50 a 4 m de profundidad, y cimentar sobre la segunda, bien directamente o bien por pilotaje, y aun así, de modo a tener una presión unitaria muy reducida.

Con los datos recogidos, propuse a la Compañía General de Electricidad, con la que se convino hacer la obra a medias, una solución de muro de hormigón armado sobre pilotaje de madera, que tropezó con grandes dificultades para su aceptación, pues la citada Compañía General, fiel a la idea antigua de que la única manera de contrarrestar el empuje brutal de un terreno corredizo es el de oponerle una masa del mismo orden de materiales pétreos que resistan por su propio peso, proponía, a todo trance, un muro de mampostería de enorme espesor y peso. Me halaga hacer aquí constar cómo la experiencia y conocimientos de D. Juan José Santa Cruz, a cuyo juicio fueron sometidas ambas soluciones, se decidió desde el primer momento por la mía, comprendiendo que es más práctico aprovechar parte de la misma energía del corrimiento en vencerlo y equilibrarlo, transformando su acción por medio de un receptor adecuado, que oponerse a él por la fuerza.

La mayor seguridad del muro de hormigón armado sobre el de mampostería obedece a que un asiento desigual en la cimentación produce, por pequeño que sea, la ruina del muro de mampostería, ya que es un material que no presenta casi cohesión, mientras que el de hormigón armado, solidario todo él y capaz de trabajar a tracción, puede resistirlo en mejores condiciones. De la misma manera, un au-