

Esta primera parte de la deformación se produce bajo la acción de las fuerzas:

$$p_1 = p \times \frac{8 \omega E_a}{e l E_b}.$$

2.<sup>a</sup> Terminación del alargamiento de los estribos y del acortamiento de la cabeza longitudinal comprimida.

Esta terminación se hace sin que la viga se doble ( $f_2 = 0$ ), pero su espesor aumenta.

3.<sup>a</sup> Flexión de la viga producida por la terminación del alargamiento de la cabeza longitudinal tendida.

La terminación se produce bajo la acción de las fuerzas  $p_2 = p - p_1$ . La flecha es igual a la mitad de la que tomaría la viga metálica asimilada bajo la acción de estas fuerzas  $p_2$ , es decir:

$$f_2 = \frac{\varphi}{2} \left( 1 = \frac{8 \omega E_a}{e l E_b} \right)$$

Se tiene, pues, finalmente, para la flecha total de la viga de hormigón armado:

$$= f_1 + f_2 + f_3 = \varphi \left( \frac{4 \omega E_a}{e l E_b} + \frac{1}{2} \right)$$

M. Chandy indica el medio de consolidar un tablero metálico de puente por medio de vigas de hormigón armado cuyas cabezas están próximamente separadas menos de la mitad que las de dos vigas metálicas del tablero. Esta separación próximamente de la mitad es una consecuencia de la fórmula de más arriba, en la cual el término  $\frac{4 \omega E_a}{e l E_b}$  es pequeño al lado del término  $\frac{1}{2}$ .

Es necesario ver también que la fórmula de la flexión vertical de los prismas cargados puestos derechos, de hormigón armado, es la misma que la del prisma metálico asimilado, afectada del coeficiente  $\frac{4 \omega E_a}{e l E_b} + \frac{1}{2}$ .

Para concluir, el autor hace notar que su fórmula de la flecha da un resultado un poco superior a la realidad, porque ha despreciado la influencia de la resistencia del hormigón al esfuerzo cortante y a la tracción.

Por el contrario, la fórmula preconizada en las instrucciones ministeriales francesas de 20 de Octubre de 1906, sobre el empleo del hormigón armado ( $f = \frac{5 p l^4}{384 E_b I_c}$ ) da resultados un poco inferiores porque supone que el hormigón resiste la tracción sin hendirse, lo que no es exacto. Ella es, por otra parte, impotente para poner en evidencia la tracción de los estribos y el aumento de volumen de la viga, de las cuales ha podido M. Chandy demostrar la existencia gracias a su teoría.

Se puede decir que la fórmula de M. Chandy da un límite superior de la flecha y que la de las instrucciones ministeriales dan un límite inferior de la misma. La flecha real es sensiblemente la media de estos dos límites.—O.

## DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES

(CONTINUACIÓN)

**Pesos.**—Para pesar los grupos de arena y de piedra correspondientes a cada diámetro, así como el cemento, se tomarán como base las curvas mecánicas respectivas, estimándose la cantidad de agua que de aproximadamente habrá de usarse por la emplea-

da en los ensayos volumétricos hechos con materiales que tenían curvas mecánicas análogas a las de aquéllos. El peso total de la arena, piedra y cemento perfectamente secos variaba de una manera apreciable con el diámetro máximo de la piedra y con su naturaleza, siendo tanto más grande el peso necesario para confeccionar un prisma cuanto mayor es la piedra, porque entonces también es mayor la densidad de la probeta. La gravilla y arena empleadas tenían un peso específico menor que la piedra partida y detritus, de manera que se necesitaba un peso más pequeño para hacer los prismas; pero en cambio el hormigón resultante era más denso, efecto que compensaba al primero. Para una mezcla de 1 X 9 hacían falta 100 kilogramos de arena y piedra y 11,50 de cemento, consignándose en el cuadro VIII los pesos correspondientes a los materiales gastados en cada prisma.

**Manipulación.**—Los materiales en seco se vertían sobre un tablero forrado con chapa de hierro con rebordes en sus cuatro costados, de 2,40 metros de longitud por 1,50 de latitud. Cuatro obreros revolvían en seco la mezcla con palas cuadradas, formando con ella una corona, en cuyo centro vertían el agua, volviendo a revolver hasta formar una masa completamente uniforme, de consistencia blanda, pero en un grado tal que no permitiera que el mortero se separase de las piedras; si el agua no era suficiente, se agregaba más hasta conseguir la consistencia deseada, anotando su peso.

**Marcas.**—Sobre cada prisma se colocaron cuatro marcas, próximamente en el centro de cada uno de los cuatro trozos en que aquéllos habían de romperse; dichas marcas estaban constituidas por pequeñas placas de bronce de 38 X 13 milímetros, con dos salientes que habían de quedar embebidos en la masa de hormigón, en cada una de las cuales se grabó el número del prisma y una de las cuatro primeras letras del alfabeto. Antes de proceder a la confección de los prismas se colocaban en el fondo del molde las marcas correspondientes, sujetándolas con la hoja de la pala hasta que el hormigón las cubría por completo.

**Moldeo.**—Preparado el molde y pesado, se vertía en él el hormigón, comprimiéndole con llanas grandes y con palas, después de lo cual se volvía a pesar para deducir la densidad del hormigón recién hecho.

La cantidad de material necesario se había calculado en vista de los resultados de los ensayos volumétricos; pero si en algún caso sobraba hormigón se pesaba, calculándose el agua correspondiente. Como la dosis de agua puede producir diferencias de un 2 ó un 3 por 100 en la densidad calculada para el prisma, se acordó que en los experimentos sucesivos al hormigón sobrante se le privaría del exceso de agua, con objeto de que tuviera la misma consistencia que el del prisma; entonces se le pesaría, se deduciría el peso de agua mezclado que se sumaría al de la que apareciese sobre la superficie del prisma, anotándose el resultado. Ahora bien; como este agua tiene algún cemento en suspensión, debe hacerse un ensayo para determinar su peso específico, el cual se empleará en los cálculos relativos a la densidad del prisma.

Tan pronto como el hormigón ha adelantado en su fraguado lo suficiente para poder manejar el prisma sin peligro de romperle, próximamente a los siete días de confeccionado se desmolda y se conserva en arena húmeda hasta que llegue el momento de romperle.

**Manera de presentar los datos.**—El cuadro VI es un modelo para presentar los datos relativos a los ensayos de prismas.

Cuando ha llegado el momento de romper un prisma, se saca éste de la arena húmeda, tomando las dimensiones necesarias para calcular la densidad y la carga de rotura. Como cada uno de aquéllos se ha de romper en cuatro trozos de la misma longitud aproximadamente, se tomaron las dimensiones de tres secciones equidistantes entre sí y de las de las extremas, midiéndose en cada una de ellas tres alturas y tres anchos, estimando hasta el cuarto de milímetro. Con los datos de las mezclas y conociendo el volumen del prisma, se calcularon los pesos

de cada material por unidad de volumen, así como los volúmenes absolutos. El coeficiente de trabajo se dedujo de las dimensiones del prisma y de la carga de rotura.

### CUADRO VI

Modelo para anotar los datos relativos a los hormigones de los prismas.

|                           |                         |
|---------------------------|-------------------------|
| Número del prisma.....    | 217                     |
| Volumen aproximado.....   | 0,0425 m <sup>3</sup> . |
| Fecha.....                | 21 Mayo 1905.           |
| Hora.....                 | 1h 30' tarde.           |
| Temperatura del aire..... | 18° C.                  |

#### Cemento.

|                  |             |
|------------------|-------------|
| Marca.....       | "Giant".    |
| Lote número..... | 20          |
| Peso.....        | 10,655 kgs. |

#### Arena y piedra.

|                        |             |
|------------------------|-------------|
| Procedencia.....       | De bahía.   |
| Análisis mecánico..... |             |
| Peso.....              | 88,776 kgs. |

#### Agua.

|                                             |            |
|---------------------------------------------|------------|
| Temperatura.....                            | 12° C.     |
| Peso.....                                   | 6,348 kgs. |
| Peso del molde núm. 14 vacío.....           | 59,057     |
| Idem id. lleno.....                         | 165,042    |
| Idem del prisma 217.....                    | 105,985    |
| Peso total de los materiales mezclados..... | 105,779    |
| Idem del hormigón sobrante.....             | 0,000      |
| Peso del prisma.....                        | 105,985    |
| Peso perdido.....                           | 0,206      |
| Peso del molde sin los costados.....        | 163,115    |
| Fecha de la colocación en arena, etc.....   |            |
| Pérdida de peso durante el fraguado.....    | 0,032      |

#### Ensayos de compresión.

Como no existe una relación constante entre el coeficiente de trabajo correspondiente a la rotura por flexión y el obtenido cuando las probetas se rompen por compresión, se dispusieron los ensayos en forma tal que de todos los hormigones pudieran conocerse los dos coeficientes, para lo cual, después de rotos los prismas por flexión en cuatro trozos, las cabezas de los correspondientes a los extremos se regularizaban con cemento puro a fin de formar prismas de unos 50 centímetros de longitud, cuya sección tenía 40 centímetros cuadrados, empleándose para ello moldes especiales.

### CUADRO VII

| Prismas de una pieza. |                                                             |                                                         | Prismas con las bases de mortero de cemento puro. |                                                             |                                                         |
|-----------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Número de orden.      | Resistencias á la compresión.<br>Kgs. por cm <sup>2</sup> . | Diferencias con la media.<br>Kgs. por cm <sup>2</sup> . | Número de orden.                                  | Resistencias á la compresión.<br>Kgs. por cm <sup>2</sup> . | Diferencias con la media.<br>Kgs. por cm <sup>2</sup> . |
| 161                   | 623,4                                                       | 42,3                                                    | 155                                               | 716,4                                                       | 72,8                                                    |
| 161                   | 562,2                                                       | 18,9                                                    | 155                                               | 657,5                                                       | 13,9                                                    |
| 161                   | 560,0                                                       | 21,1                                                    | 155                                               | 566,8                                                       | 76,8                                                    |
| 162                   | 603,0                                                       | 21,9                                                    | 157                                               | 675,6                                                       | 32,0                                                    |
| 162                   | 596,2                                                       | 15,1                                                    | 157                                               | 673,3                                                       | 29,7                                                    |
| 162                   | 541,8                                                       | 39,3                                                    | 157                                               | 591,7                                                       | 52,5                                                    |
| Media....             | 581,1                                                       | 26,4                                                    | Media....                                         | 643,6                                                       | 46,3                                                    |
| Tanto por 100.        | "                                                           | 4,54                                                    | Tanto por 100.                                    | "                                                           | 7,2                                                     |

Ahora bien; esta manera de proceder da lugar a la siguiente duda: la resistencia á la compresión de prismas de hormigón confeccionados directamente, ¿es la misma que la de aquellos cuyos extremos son de mortero de cemento puro y están preparados en la forma que se acaba de explicar? Para adquirir ideas fijas sobre este particular, se moldearon cuatro prismas de  $15 \times 15 \times 46$  centímetros con hormigón de la misma composición que uno de los empleados para los prismas,  $1 \times 9$ , los cuales se rompieron al cabo del mismo período de tiempo que los trozos de los prismas, consignándose los resultados de unos y otros en el cuadro VII, en el cual puede observarse que la media es mayor en los segundos que en los primeros, así como también que son más grandes las diferencias entre la resistencia de cada prisma y la media correspondiente.

#### Resultados de los ensayos.

Terminados los ensayos se formaron cuadros como el número VIII, en los que se consignaron los datos y los resultados de todos los prismas construidos relativos á la composición del hormigón, densidad y resistencias á la flexión y compresión.

Del examen de dicho cuadro se deduce que cuanto más pequeño es el diámetro máximo de la piedra mayor es la cantidad de agua necesaria para la mezcla, así como que la gravilla y arena exigen menos agua que la piedra partida y detritus.

El volumen total de huecos por metro cúbico, columna (25), es sencillamente el complemento de las densidades consignadas en la (20). Los huecos del cemento, columna (23), se han deducido de los correspondientes á los dos prismas de cemento puro, admitiendo que la relación de los huecos de las probetas de hormigón debidos al cemento, al peso de cemento por metro cúbico de hormigón, es la misma que existe entre los huecos de un prisma de cemento puro y el peso de este material que ha entrado en su formación.

Para determinar la resistencia media de cada mezcla, columna (30), se sumaron los resultados de todas las roturas de los dos prismas, aunque el número de aquéllas no fuera el mismo para los dos.

Para formar el cuadro VIII se han tomado como punto de partida los siguientes datos numéricos:

*Volúmenes de la unidad de peso de cada material:*

Cemento, 1.

Detritus, 1,06.

Piedra partida, 1,03.

Piedra partida y detritus (variable con la composición de la mezcla).

Arena natural, 1,11.

Gravilla, 0,97.

*Pesos específicos:*

Cemento, 3,10.

Detritus (variable con el tamaño).

Piedra partida, 2,78.

Piedra partida y detritus, 2,77.

Arena, 2,65.

Gravilla, 2,65.

*Pesos de la unidad de volumen:*

Cemento, 100.

Detritus, 94,8.

Piedra partida, 97.

Detritus y piedra partida (variable con la composición de la mezcla).

Arena natural, 90.

Gravilla, 102,7.

Columna 16 = columna 11  $\times$  0,08  $\times$  columna 13.

Idem 17 = idem 13 + idem 25.

La columna 16 representa el minimum teórico admitiendo un 8 por 100 de agua para la combinación química.

La columna 17 representa el maximum técnico, en la hipótesis de que los huecos se han de llenar con agua.

Prismas de 182,8 × 15 × 15 cms. Luces, 172,8

| NÚMERO<br>de<br>los prismas. | DOSIS<br>del<br>hormigón. | NÚMERO<br>de la<br>ecuación<br>de<br>análisis<br>mecáni-<br>cos (cua-<br>dro I). | DOSIS<br>de<br>cemento<br>en peso<br>por<br>ciento. | CLASE<br>de<br>piedra. | CLASE<br>de<br>arena. | DIÁMETRO<br>de<br>las piedras<br>mayores.<br>—<br>mm. | DIÁMETRO<br>a partir<br>del cual<br>la curva<br>de análisis<br>es<br>una recta.<br>—<br>mm. | DOSIS<br>de<br>la parte<br>cuyo<br>diámetro<br>es menor<br>que el<br>consignado<br>en la<br>columna (8). | CURVA<br>de<br>la parte<br>cuyo diámetro<br>es inferior<br>al<br>consignado<br>en<br>la columna (8). | Peso de cada material en kgs. por m <sup>3</sup> . |                       |        |       |           |      |      |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-----------------------|--------|-------|-----------|------|------|
|                              |                           |                                                                                  |                                                     |                        |                       |                                                       |                                                                                             |                                                                                                          |                                                                                                      | Cement.                                            | Arena<br>y<br>piedra. | Total. | Agua. | TOTALES   |      |      |
|                              |                           |                                                                                  |                                                     |                        |                       |                                                       |                                                                                             |                                                                                                          |                                                                                                      |                                                    |                       |        |       | Mezclada. | Max. | Min. |
| (1)                          | (2)                       | (3)                                                                              | (4)                                                 | (5)                    | (6)                   | (7)                                                   | (8)                                                                                         | (9)                                                                                                      | (10)                                                                                                 | (11)                                               | (12)                  | (13)   | (14)  | (15)      | (16) | (17) |
| 210                          | 1                         | "                                                                                | "                                                   | "                      | "                     | "                                                     | "                                                                                           | "                                                                                                        | "                                                                                                    | 1672                                               | "                     | 1672   | 475   | 2147      | 2131 | 1804 |
| 144                          | 1 × 9                     | (7)                                                                              | 10                                                  | Partida.               | Detritus.             | 57                                                    | 2,5                                                                                         | 29,9                                                                                                     | Parábola...                                                                                          | 240                                                | 2160                  | 2400   | 163   | 2563      | 2542 | 2419 |
| 149                          | 1 × 9                     | (5)                                                                              | 10                                                  | Idem...                | Idem...               | 57                                                    | 5,0                                                                                         | 36,9                                                                                                     | Elipse....                                                                                           | 238                                                | 2139                  | 2377   | 159   | 2536      | 2528 | 2386 |
| 157                          | 1 × 9                     | (1)                                                                              | 10                                                  | Idem...                | Idem...               | 57                                                    | 5,0                                                                                         | 37,8                                                                                                     | Idem.....                                                                                            | 238                                                | 2144                  | 2332   | 163   | 2542      | 2530 | 2401 |
| 145                          | 1 × 9                     | (7)                                                                              | 10                                                  | Idem...                | Idem...               | 25                                                    | 2,5                                                                                         | 34,2                                                                                                     | Parábola...                                                                                          | 199                                                | 2064                  | 2263   | 139   | 2452      | 2464 | 2279 |
| 165                          | 1 × 9                     | (1)                                                                              | 10                                                  | Idem...                | Idem...               | 12                                                    | 2,0                                                                                         | 36,3                                                                                                     | Idem.....                                                                                            | 216                                                | 1939                  | 2155   | 208   | 2363      | 2385 | 2172 |
| 168                          | 1 × 2,5 × 6,5             | "                                                                                | 10                                                  | Idem...                | Idem...               | 57                                                    | "                                                                                           | "                                                                                                        | "                                                                                                    | 234                                                | 2101                  | 2335   | 151   | 2489      | 2501 | 2354 |
| 172                          | 1 × 2,5 × 6,5             | "                                                                                | 10                                                  | Idem...                | Idem...               | 25                                                    | "                                                                                           | "                                                                                                        | "                                                                                                    | 227                                                | 2045                  | 2272   | 232   | 2504      | 2456 | 2293 |
| 171                          | 1 × 3 × 6                 | "                                                                                | 10                                                  | Idem...                | Idem...               | 25                                                    | "                                                                                           | "                                                                                                        | "                                                                                                    | 221                                                | 2006                  | 2227   | 200   | 2427      | 2431 | 2245 |
| 174                          | 1 × 3,5 × 5,5             | "                                                                                | 10                                                  | Idem...                | Idem...               | 25                                                    | "                                                                                           | "                                                                                                        | "                                                                                                    | 219                                                | 1974                  | 2193   | 218   | 2411      | 2409 | 2211 |
| 178                          | 1 × 7                     | (2)                                                                              | 12,5                                                | Idem...                | Idem...               | 57                                                    | 5,0                                                                                         | 35,8                                                                                                     | Elipse.....                                                                                          | 296                                                | 2074                  | 2370   | 146   | 2516      | 2526 | 2393 |
| 183                          | 1 × 5,67                  | (1)                                                                              | 15                                                  | Idem...                | Idem...               | 57                                                    | 5,0                                                                                         | 37,8                                                                                                     | Idem.....                                                                                            | 349                                                | 1978                  | 232    | 186   | 2513      | 2482 | 2355 |
| 193                          | 1 × 11,5                  | (1)                                                                              | 8                                                   | Idem...                | Idem...               | 57                                                    | 5,0                                                                                         | 37,8                                                                                                     | Idem.....                                                                                            | 186                                                | 2136                  | 2324   | 170   | 2494      | 2493 | 2339 |
| 220                          | 1 × 8,43                  | (9)                                                                              | 10,6                                                | Gravilla               | Arena...              | 57                                                    | 5,0                                                                                         | 32,1                                                                                                     | Idem.....                                                                                            | 254                                                | 2139                  | 2393   | 152   | 2551      | 2501 | 2418 |
| 236                          | 1 × 2,81 × 5,62           | "                                                                                | 10,6                                                | Idem...                | Idem...               | 12                                                    | "                                                                                           | "                                                                                                        | "                                                                                                    | 229                                                | 1930                  | 2159   | 175   | 2334      | 2355 | 2177 |
| 214                          | 1 × ,8                    | (12)                                                                             | 10,2                                                | Partida.               | Idem...               | 57                                                    | 5,0                                                                                         | 33,8                                                                                                     | Idem.....                                                                                            | 246                                                | 2176                  | 2422   | 159   | 2581      | 2547 | 2442 |
| 204                          | 1 × 2,92 × 5,98           | "                                                                                | 10,2                                                | Idem...                | Idem...               | 25                                                    | "                                                                                           | "                                                                                                        | "                                                                                                    | 230                                                | 2027                  | 2257   | 157   | 2414      | 2442 | 2275 |
| 216                          | 1 × 5,54                  | (12)                                                                             | 15,3                                                | Idem...                | Idem...               | 57                                                    | 5,0                                                                                         | 33,8                                                                                                     | Idem.....                                                                                            | 363                                                | 2016                  | 2379   | 154   | 2533      | 2527 | 2408 |

y 81,3 cms. Prismas de 45,7 × 15 × 15 cms.

| Volumen (calculado) de cada material<br>por unidad de volumen de prisma. |                       |        |       |        | Volumen de huecos. |                       |        | FLEXIÓN             |                          |              |      |        | COMPRESIÓN          |                          |              |       |        | NÚMERO<br>de los<br>prismas. | OBSERVACIONES      |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------|-------|--------|--------------------|-----------------------|--------|---------------------|--------------------------|--------------|------|--------|---------------------|--------------------------|--------------|-------|--------|------------------------------|--------------------|
| Cemento.                                                                 | Arena<br>y<br>piedra. | Total. | Agua. | Total. | Cemento.           | Arena<br>y<br>piedra. | Total. | Edad<br>en<br>días. | Número<br>de<br>roturas. | KGS. POR CM² |      |        | Edad<br>en<br>días. | Número<br>de<br>roturas. | KGS. POR CM² |       |        |                              |                    |
|                                                                          |                       |        |       |        |                    |                       |        |                     |                          | Max.         | Min. | Media. |                     |                          | Max.         | Min.  | Media. |                              |                    |
| (18)                                                                     | (19)                  | (20)   | (21)  | (22)   | (23)               | (24)                  | (25)   | (26)                | (27)                     | (28)         | (29) | (30)   | (31)                | (32)                     | (33)         | (34)  | (35)   | (36)                         | (37)               |
| 0,541                                                                    | "                     | 0,541  | 0,475 | 1,016  | 0,459              | "                     | 0,459  | 89                  | 3                        | 82,7         | 65,3 | 74,0   | "                   | "                        | "            | "     | "      | 210                          |                    |
| 0,078                                                                    | 0,780                 | 0,858  | 0,163 | 1,021  | 0,066              | 0,076                 | 0,142  | 90                  | 3                        | 21,3         | 17,5 | 19,4   | "                   | "                        | "            | "     | "      | 144                          | Superficie áspera. |
| 0,077                                                                    | 0,772                 | 0,849  | 0,159 | 1,008  | 0,065              | 0,086                 | 0,151  | 91                  | 2                        | 19,5         | 17,8 | 18,7   | "                   | "                        | "            | "     | "      | 149                          | Idem muy áspera.   |
| 0,077                                                                    | 0,775                 | 0,852  | 0,160 | 1,012  | 0,065              | 0,083                 | 0,148  | 90                  | 3                        | 18,1         | 14,0 | 16,0   | 142                 | 3                        | 104,7        | 91,7  | 98,2   | 157                          | Idem.              |
| 0,074                                                                    | 0,725                 | 0,799  | 0,189 | 0,988  | 0,063              | 0,138                 | 0,201  | 90                  | 2                        | 20,1         | 17,0 | 18,5   | "                   | "                        | "            | "     | "      | 145                          |                    |
| 0,070                                                                    | 0,700                 | 0,770  | 0,208 | 0,978  | 0,059              | 0,171                 | 0,230  | 91                  | 3                        | 16,3         | 13,9 | 15,1   | 137                 | 2                        | 67,8         | 67,1  | 67,5   | 165                          |                    |
| 0,076                                                                    | 0,753                 | 0,834  | 0,154 | 0,988  | 0,064              | 0,102                 | 0,166  | 90                  | 3                        | 14,5         | 5,3  | 9,9    | 135                 | 2                        | 65,4         | 55,1  | 60,5   | 168                          |                    |
| 0,074                                                                    | 0,736                 | 0,810  | 0,232 | 1,042  | 0,063              | 0,121                 | 0,184  | 90                  | 2                        | 11,8         | 9,7  | 10,7   | 148                 | 2                        | 61,5         | 60,1  | 60,8   | 172                          |                    |
| 0,071                                                                    | 0,725                 | 0,796  | 0,200 | 0,996  | 0,060              | 0,144                 | 0,204  | 90                  | 3                        | 14,0         | 11,2 | 12,6   | 133                 | 2                        | 60,8         | 59,4  | 60,1   | 171                          |                    |
| 0,071                                                                    | 0,713                 | 0,781  | 0,218 | 1,002  | 0,060              | 0,15                  | 0,216  | 91                  | 3                        | 13,5         | 11,7 | 12,6   | 145                 | 2                        | 62,7         | 55,8  | 59,2   | 174                          |                    |
| 0,096                                                                    | 0,748                 | 0,844  | 0,146 | 0,990  | 0,081              | 0,075                 | 0,156  | 98                  | 3                        | 18,8         | 14,6 | 16,7   | "                   | 2                        | 99,1         | 87,9  | 93,5   | 178                          | Superficie áspera. |
| 0,130                                                                    | 0,715                 | 0,845  | 0,186 | 1,031  | 0,110              | 0,045                 | 0,155  | 91                  | 3                        | 25,4         | 19,8 | 22,6   | "                   | 2                        | 134,9        | 122,7 | 128,8  | 183                          |                    |
| 0,060                                                                    | 0,771                 | 0,831  | 0,170 | 1,001  | 0,051              | 0,118                 | 0,169  | 90                  | 2                        | 15,5         | 13,6 | 14,5   | "                   | 2                        | 77,3         | 66,1  | 71,7   | 193                          |                    |
| 0,082                                                                    | 0,810                 | 0,892  | 0,152 | 1,044  | 0,069              | 0,039                 | 0,108  | 91                  | 3                        | 17,1         | 12,3 | 14,7   | "                   | 2                        | 101,2        | 88,6  | 94,9   | 220                          |                    |
| 0,074                                                                    | 0,730                 | 0,804  | 0,175 | 0,979  | 0,063              | 0,133                 | 0,196  | 90                  | 1                        | 11,9         | 11,9 | 11,9   | 141                 | 2                        | 88,9         | 72,0  | 80,5   | 236                          |                    |
| 0,080                                                                    | 0,795                 | 0,875  | 0,159 | 1,034  | 0,068              | 0,057                 | 0,125  | 91                  | 3                        | 23,3         | 19,3 | 21,3   | 136                 | 2                        | 135,3        | 128,3 | 131,8  | 214                          |                    |
| 0,075                                                                    | 0,740                 | 0,815  | 0,157 | 0,972  | 0,064              | 0,121                 | 0,185  | 90                  | 2                        | 21,0         | 17,9 | 19,5   | 141                 | 2                        | 105,2        | 100,8 | 103,0  | 204                          |                    |
| 0,117                                                                    | 0,735                 | 0,852  | 0,154 | 1,006  | 0,99               | 0,049                 | 0,148  | 91                  | 3                        | 31,2         | 27,5 | 29,8   | 136                 | 2                        | 171,6        | 129,3 | 150,5  | 216                          |                    |

Ensayos comparativos de densidad y de resistencia que constituyen el fundamento de las conclusiones.

CONCLUSIONES 3, 4 y 5.

Con objeto de presentar de una manera lo más clara posible los fundamentos que sirven de base á las conclusiones sentadas al principio de este trabajo, se van á agrupar en pequeños cuadros los hechos esenciales que justifican dichas conclusiones.

Hormigones con arena y piedra de tamaño máximo variable.

#### CONCLUSIONES 1 y 2.

En el cuadro IX se consignan las medias de los resultados relativos á la densidad y á los coeficientes de trabajo de todas las probetas ensayadas, á excepción de cuatro que dieron resistencias muy pequeñas por no tener completamente llenos los huecos. En todos los casos, menos en uno, la mezcla hecha con piedra cuyo diámetro máximo era 57 mm., fué más densa que aquella, en la que este diámetro era 25 mm., sucediendo lo mismo

En los cuadros X y XI se han consignado las densidades y resistencias de hormigones confeccionados con piedra partida y detritus, con gravilla y arena y con piedra partida y arena en las proporciones  $1 \times 9$  y  $1 \times 3 \times 6$  en peso, con la corrección correspondiente en la gravilla y arena para que los volúmenes absolutos fueran los mismos en todas las mezclas y pudieran hacerse las comparaciones de una manera correcta. Por esta razón, las proporciones del hormigón hecho con gravilla y arena natural fueron  $1 \times 8,43$  y  $1 \times 2,81 \times 5,62$ , mientras que las del correspondiente á las mezclas ensayadas fueron á su vez  $1 \times 8,80$  y  $1 \times 2,92 \times 5,88$ , siempre en peso. Con dicha corrección, las proporciones en volúmenes absolutos son exactamente las mismas, y como son éstos los que determinan la composición, el método seguido para la dosificación es el verdaderamente correcto para ensayos comparativos.

Los hormigones que figuran en el cuadro X se confeccionaron con un 10 por 100 de cemento en peso; en dicho cuadro pue-

CUADRO IX

| NÚMEROS DE REFERENCIA                              |                                  |                                  | DOSIS<br>en<br>peso. | MATERIAL  |           | NATURALEZA<br>de<br>la mezcla. | DENSIDAD MEDIA         |                        |                        | FLEXIÓN<br>Carga de rotura á 90 días.<br>—<br>Kilogramos por cm <sup>2</sup> . |                        |                        | COMPRESIÓN<br>Carga de rotura á 140 días.<br>—<br>Kilogramos por cm <sup>2</sup> . |                        |                        |
|----------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------|-----------|-----------|--------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Piedra<br>de 57 mm.                                | Piedra<br>de 25 mm.              | Piedra<br>de 12 mm.              |                      | Piedra.   | Arena.    |                                | Piedra<br>de<br>57 mm. | Piedra<br>de<br>25 mm. | Piedra<br>de<br>12 mm. | Piedra<br>de<br>57 mm.                                                         | Piedra<br>de<br>25 mm. | Piedra<br>de<br>12 mm. | Piedra<br>de<br>57 mm.                                                             | Piedra<br>de<br>25 mm. | Piedra<br>de<br>12 mm. |
| (1)                                                | (2)                              | (3)                              | (4)                  | (5)       | (6)       | (7)                            | (8)                    | (9)                    | (10)                   | (11)                                                                           | (12)                   | (13)                   | (14)                                                                               | (15)                   | (16)                   |
| 144, 146, 148,<br>149, 150, 155,<br>156, 157, 158. | 145, 147, 151,<br>152, 159, 160. | 164, 165, 153,<br>154, 195, 196. | $1 \times 9$         | Partida.. | Detritus. | Ideal. ....                    | 0,851                  | 0,810                  | 0,767                  | 18,0                                                                           | 15,9                   | 14,6                   | 94,3                                                                               | 66,8                   | 64,3                   |
| 166, 167, 168,<br>169.....                         | 170, 171, 172,<br>173, 174, 175. | 176, 177, 192,<br>194.....       | $1 \times 9$         | "         | "         | Natural...                     | 0,821                  | 0,798                  | 0,768                  | 14,8                                                                           | 12,0                   | 11,4                   | 68,9                                                                               | 61,9                   | 57,8                   |
| 187.....                                           | 188.....                         | 198.....                         | $1 \times 9$         | "         | "         | Uniforme.                      | 0,832                  | 0,797                  | 0,769                  | 18,0                                                                           | 16,1                   | 12,7                   | 94,5                                                                               | 66,8                   | 62,7                   |
| 217, 220, 221,<br>222, 229, 230,<br>234.....       | 223, 226, 228,<br>231, 232, 235. | 236, 237, 259.                   | $1 \times 9$         | Gravilla. | Arena.... | Variable..                     | 0,859                  | 0,847                  | 0,853                  | 17,1                                                                           | 17,3                   | 13,3                   | 104,4                                                                              | 98,5                   | 86,5                   |
| 209, 213, 214.                                     | 203, 204, 210,<br>215.....       | 207, 208, 211,<br>212.....       | $1 \times 9$         | Partida.. | Arena...  | "                              | 0,872                  | 0,818                  | 0,784                  | 20,5                                                                           | 19,2                   | 14,6                   | 126,4                                                                              | 111,3                  | 83,2                   |
| Medias.....                                        |                                  |                                  |                      |           |           |                                | 0,847                  | 0,814                  | 0,788                  | 17,7                                                                           | 16,1                   | 13,3                   | 97,8                                                                               | 81,0                   | 70,8                   |
| Relaciones.....                                    |                                  |                                  |                      |           |           |                                | 1,00                   | 0,96                   | 0,93                   | 1,00                                                                           | 0,91                   | 0,75                   | 1,00                                                                               | 0,88                   | 0,72                   |

con las mezclas en que los diámetros máximos de la piedra eran respectivamente, 25 y 12 mm. Los coeficientes de trabajo de los hormigones confeccionados con piedra de 57, 25 y 12 mm. de diámetro máximo, respectivamente, ofrecieron constantemente un orden regular y metódico, siendo mayores los correspondientes á los hormigones hechos con piedras más grandes; únicamente en un caso una probeta hecha con piedra de 25 mm. dió una resistencia mayor en un 1 por 100 que la de las probetas que tenían piedra de 57 mm. de diámetro máximo.

En la parte inferior del cuadro se han calculado las medias generales, así como las relaciones entre las densidades y las resistencias, tomando como unidad la correspondiente al hormigón hecho con piedra de 57 mm. Si se comparan estas relaciones con las que se deducirían de los datos consignados en el cuadro XV, se observa que debe aumentarse la dosis de cemento de los hormigones confeccionados con piedra de 25 y 12 mm. de diámetro máximo, en un sexto para el primero y en un tercio para el segundo, si se quiere que su resistencia sea la misma que la del hecho con piedra de 57 mm.

de observarse que las mezclas de gravilla y arena son las que producen densidades mayores, indudablemente por la forma redondeada de sus granos, hecho que está de acuerdo con los resultados obtenidos por otros experimentadores. La mezcla de piedra partida y arena es menos densa que la de gravilla y arena, pero más que la de piedra partida y detritus.

Las resistencias no siguen la misma marcha que las densidades, puesto que el hormigón confeccionado con gravilla y arena, aunque más denso que el hecho con piedra partida y arena, no es más resistente que este último en dos casos de tres, aun cuando, según se deduce de la columna (18) del cuadro VIII, la cantidad de cemento por unidad de volumen es mayor en el primero que en el segundo. Un detenido estudio de los resultados hace ver que el ensayo de la mezcla con piedra de 12 mm. que no sigue la regla es seguramente el erróneo, más bien que los otros dos, puesto que en los ensayos de resistencia á la flexión las diferencias entre los resultados de las probetas hechas con piedra de 12 mm. es únicamente el 2 por 100, mientras que en las de piedras más grandes (57 y 25 mm.) dichas diferencias son

mucho más grandes; en los ensayos de compresión la resistencia de las primeras es muy grande y mucho mayor que la correspondiente á las segundas. En resumen, el hormigón de piedra partida es más resistente que el de gravilla, á igualdad de condiciones, efecto debido á la diferencia entre las superficies de contacto correspondientes á cada material, lo cual está de acuerdo con los resultados de otros experimentos, entre ellos los realizados por E. Candlot, muy discutidos por cierto.

Las mezclas del cuadro XI, todas con las mismas dosis de

á las mejores curvas mecánicas, como se ha hecho en el Cuadro X, razón por la cual es de todo punto necesario continuar los ensayos con otras clases de piedras para comprobar si las conclusiones antes sentadas les son también aplicables. La edad de las probetas influye en las resistencias, porque si la mezcla es bastante rica, á medida que pasa el tiempo aumentan las probabilidades de que las piedras se rompan en los ensayos de compresión, de manera que la resistencia actual de las piedras es una función de la correspondiente al hormigón.

CUADRO X

| NÚMERO DE LOS PRISMAS             | DOSIS<br>en<br>peso. | DIAMETRO<br>máximo<br>de la<br>piedra.<br>—<br>mm. | DENSIDAD                            |                         |                                  | FLEXIÓN                               |                         |                                  | COMPRESIÓN                            |                         |                                  |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
|                                   |                      |                                                    |                                     |                         |                                  | Carga de rotura á los 90 días.        |                         |                                  | Carga de rotura á los 140 días        |                         |                                  |
|                                   |                      |                                                    |                                     |                         |                                  | —<br>Kilogramos por cm <sup>2</sup> . |                         |                                  | —<br>Kilogramos por cm <sup>2</sup> . |                         |                                  |
|                                   |                      |                                                    | Piedra<br>partida<br>y<br>detritus. | Gravilla<br>y<br>arena. | Piedra<br>partida<br>y<br>arena. | Piedra<br>partida<br>y<br>detritus.   | Gravilla<br>y<br>arena. | Piedra<br>partida<br>y<br>arena. | Piedra<br>partida<br>y<br>detritus.   | Gravilla<br>y<br>arena. | Piedra<br>partida<br>y<br>arena. |
| (1)                               | (2)                  | (3)                                                | (4)                                 | (5)                     | (6)                              | (7)                                   | (8)                     | (9)                              | (10)                                  | (11)                    | (12)                             |
| 155, 157, 217, 220, 213, 214..... | 1 × 9                | 57                                                 | 0,854                               | 0,874                   | 0,874                            | 17,1                                  | 16,2                    | 20,3                             | 100,1                                 | 107,7                   | 132,8                            |
| 151, 152, 223, 226, 210.....      | 1 × 9                | 25                                                 | 0,820                               | 0,845                   | 0,820                            | 15,5                                  | 18,1                    | 19,6                             | 73,9                                  | 100,1                   | 124,4                            |
| 164, 165, 259, 211, 212.....      | 1 × 9                | 12                                                 | 0,769                               | 0,827                   | 0,787                            | 14,1                                  | 15,2                    | 14,9                             | 61,9                                  | 113,2                   | 87,4                             |
| Medias.....                       |                      |                                                    | 0,814                               | 0,849                   | 0,827                            | 15,5                                  | 16,5                    | 18,3                             | 78,5                                  | 107,0                   | 114,8                            |

CUADRO XI

| NÚMERO DE LOS PRISMAS             | DOSIS<br>en<br>peso. | DIAMETRO<br>máximo<br>de la<br>piedra.<br>—<br>mm. | DENSIDAD                            |                         |                                  | FLEXIÓN                               |                         |                                  | COMPRESIÓN                            |                         |                                  |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
|                                   |                      |                                                    |                                     |                         |                                  | Carga de rotura á los 90 días.        |                         |                                  | Carga de rotura á los 140 días.       |                         |                                  |
|                                   |                      |                                                    |                                     |                         |                                  | —<br>Kilogramos por cm <sup>2</sup> . |                         |                                  | —<br>Kilogramos por cm <sup>2</sup> . |                         |                                  |
|                                   |                      |                                                    | Piedra<br>partida<br>y<br>detritus. | Gravilla<br>y<br>arena. | Piedra<br>partida<br>y<br>arena. | Piedra<br>partida<br>y<br>detritus.   | Gravilla<br>y<br>arena. | Piedra<br>partida<br>y<br>arena. | Piedra<br>partida<br>y<br>detritus.   | Gravilla<br>y<br>arena. | Piedra<br>partida<br>y<br>arena. |
| (1)                               | (2)                  | (3)                                                | (4)                                 | (5)                     | (6)                              | (7)                                   | (8)                     | (9)                              | (10)                                  | (11)                    | (12)                             |
| 166, 167, 221, 222, 205, 206..... | 1 × 3 × 6            | 57                                                 | 0,812                               | 0,826                   | 0,834                            | 17,4                                  | 17,0                    | 12,4                             | 75,6                                  | 95,3                    | 93,1                             |
| 170, 171, 227, 228, 203, 204..... | 1 × 3 × 6            | 25                                                 | 0,799                               | 0,814                   | 0,818                            | 12,3                                  | 17,4                    | 19,4                             | 61,2                                  | 110,1                   | 103,8                            |
| 176, 177, 236, 237, 207, 208..... | 1 × 3 × 6            | 12                                                 | 0,771                               | 0,815                   | 0,787                            | 10,5                                  | 12,4                    | 14,9                             | 51,6                                  | 71,3                    | 87,7                             |
| Medias.....                       |                      |                                                    | 0,794                               | 0,828                   | 0,813                            | 13,4                                  | 15,6                    | 15,6                             | 62,8                                  | 92,2                    | 96,9                             |

materiales (con la corrección relativa al peso específico), no son las que corresponden á las mejores curvas mecánicas, por cuya razón los resultados no son tan concluyentes como los del cuadro X, aunque la analogía es completa entre unos y otros. La mezcla de arena y gravilla, mucho más densa que la de piedra partida y arena, es mucho menos resistente que ésta. Tanto el cuadro X como el XI demuestran que el hormigón de piedra partida y detritus tiene menos densidad y resistencia que el de gravilla y arena y que el de piedra partida y arena; en las mezclas de 1 × 3 × 6 que figuran en el cuadro XI, esto es debido á que los materiales no se han preparado previamente con arreglo

Los resultados de estos experimentos son que los hormigones confeccionados con arena de granos redondeados tienen resistencias mayores que los hechos con detritus de piedra partida, siempre que las proporciones sean las mismas, resultados que están en contradicción con los de otros experimentadores, lo cual puede atribuirse á la diferencia que pueda haber entre los diámetros de los elementos de los materiales empleados, ó á que la composición química de los detritus sea tal, que se verifique una reacción entre los elementos más pequeños de éstos y los del cemento.

Hormigones confeccionados con arena y piedra de curvas mecánicas ideales y con materiales naturales con proporciones ordinarias.

#### CONCLUSIÓN 6.

En el cuadro XII se comparan las densidades y las resistencias de ambas clases de hormigón, y en él puede observarse que los resultados correspondientes al primero son más satisfactorios que los del segundo, hecho que sería más marcado si en lugar de consignar la media de varias probetas se hubieran elegido los resultados de las hechas con proporciones mejores, tanto ideales como naturales.

dos decidir la conveniencia ó inutilidad de continuar los ensayos con piedra de aquellas condiciones.

El cuadro XIII contiene el resumen de los resultados de los ensayos hechos con hormigones confeccionados con piedra gruesa de un solo diámetro y con piedra de diámetro uniformemente variable; del examen de dicho cuadro se deduce que las diferencias entre ambos hormigones son pequeñas, y que así como los primeros son más densos que los segundos, éstos á su vez son más resistentes que aquéllos, resultado contrario á lo que era de esperar, porque, por regla general, los hormigones más densos son también los más resistentes, y el cual puede explicarse por la tendencia del mortero á separarse de las piedras á que

### CUADRO XII

| NÚMEROS DE LOS PRISMAS |                    | DOSIS<br>en<br>peso. | MATERIALES |          | DIÁMETRO<br>máximo<br>de la<br>piedra.<br>mm. | DENSIDAD MEDIA |          | FLEXIÓN<br>Carga de rotura á los 90 días.<br>Kilogramos por cm <sup>2</sup> . |          | COMPRESIÓN<br>Carga de rotura á los 140 días.<br>Kilogramos por cm <sup>2</sup> . |          |
|------------------------|--------------------|----------------------|------------|----------|-----------------------------------------------|----------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Mezcla ideal.          | Mezcla natural.    |                      | Piedra.    | Arena.   |                                               | Ideal.         | Natural. | Ideal.                                                                        | Natural. | Ideal.                                                                            | Natural. |
| (1)                    | (2)                | (3)                  | (4)        | (5)      | (6)                                           | (7)            | (8)      | (9)                                                                           | (10)     | (11)                                                                              | (12)     |
| 144, 146, 148.....     | 166, 167.....      | 1 × 9                | Partida.   | Detritus | 57                                            | 0,851          | 0,821    | 18,1                                                                          | 14,8     | 94,3                                                                              | 63,9     |
| 149, 150, 155.....     | 168.....           |                      |            |          |                                               |                |          |                                                                               |          |                                                                                   |          |
| 156, 157, 158.....     | 169.....           |                      |            |          |                                               |                |          |                                                                               |          |                                                                                   |          |
| 145, 147, 151.....     | 170, 171, 172..... | 1 × 9                | Idem...    | Idem...  | 25                                            | 0,810          | 0,793    | 15,9                                                                          | 12,0     | 66,8                                                                              | 61,4     |
| 152, 159, 160.....     | 173, 174, 175..... |                      |            |          |                                               |                |          |                                                                               |          |                                                                                   |          |
| 153, 154, 164.....     | 176, 177.....      | 1 × 9                | Idem...    | Idem...  | 12                                            | 0,767          | 0,768    | 14,6                                                                          | 11,3     | 64,3                                                                              | 57,9     |
| 165, 195, 196.....     | 192, 194.....      |                      |            |          |                                               |                |          |                                                                               |          |                                                                                   |          |
| 217, 220.....          | 221, 222.....      | 1 × 9                | Gravilla   | Arena.   | 57                                            | 0,863          | 0,826    | 16,2                                                                          | 17,4     | 108,2                                                                             | 95,2     |
| 223, 226.....          | 227, 228.....      | 1 × 9                | Idem...    | Idem...  | 25                                            | 0,815          | 0,814    | 18,1                                                                          | 17,5     | 100,1                                                                             | 105,7    |
| 259.....               | 236, 237.....      | 1 × 9                | Idem...    | Idem...  | 12                                            | 0,827          | 0,817    | 15,2                                                                          | 12,4     | 113,2                                                                             | 73,1     |
| 200, 209.....          | 205, 206.....      | 1 × 9                | Partida.   | Idem...  | 57                                            | 0,861          | 0,834    | 19,9                                                                          | 12,1     | 117,3                                                                             | 93,1     |
| 213, 214.....          |                    |                      |            |          |                                               |                |          |                                                                               |          |                                                                                   |          |
| 210.....               | 203, 204.....      | 1 × 9                | Idem...    | Idem...  | 25                                            | 0,820          | 0,818    | 20,20                                                                         | 19,4     | 124,4                                                                             | 110,0    |
| 211, 212.....          | 207, 208.....      | 1 × 9                | Idem...    | Idem...  | 12                                            | 0,782          | 0,787    | 14,2                                                                          | 14,9     | 79,1                                                                              | 87,1     |
| Medias.....            |                    |                      |            |          |                                               | 0,821          | 0,810    | 16,9                                                                          | 14,6     | 95,9                                                                              | 83,6     |

Si en vez de comparar las medias correspondientes á todas las probetas hechas con curvas artificiales y proporciones naturales se hubieran elegido aquellas probetas que poseyeran la mejor curva ideal con piedra cuyo diámetro máximo fuera 57 milímetros, es decir, la curva artificial más baja con la cual se llenarán los huecos y la mejor mezcla natural para el mismo tamaño de piedra, que sería 1 × 3 × 6, las medias de las cargas de rotura serían 16,94 kilogramos por cm.<sup>2</sup> para la mezcla ideal y 14,83 para la natural, cuya diferencia es el 14 por 100 de la segunda. La economía de cemento se puede calcular con auxilio del cuadro XV.

#### CONCLUSIÓN 7.

De ensayos hechos en el laboratorio se deduce que los hormigones confeccionados con piedras grandes de un solo diámetro son más densos que los hechos con piedras de diámetro uniformemente variable; sin embargo, en el primer caso, un 50 por 100 del peso total de arena y piedra le constituían las de mayor diámetro de éstas últimas, resultando un hormigón muy basto, que seguramente daría malos resultados en la práctica por la tendencia del mortero á separarse de las piedras, lo cual favorece la formación de huecos y la agrupación de las últimas. Por esta razón, en los experimentos de 1905 se construyeron muy pocos prismas con piedra gruesa de diámetro constante, únicamente los precisos para en vista de los resultados obteni-

antes se ha hecho referencia; por lo tanto, deben hacerse más experimentos para comprobar los resultados de los hechos en 1905.

Una de las conclusiones más importantes que se deduce de los ensayos comparativos cuyos resultados se consignan en el cuadro XIII, es que relativamente es muy pequeña la diferencia que existe entre la densidad y la resistencia de los hormigones por efecto de la forma de la curva mecánica correspondiente á la parte gruesa de la mezcla de arena y piedra (1), siempre que el peso de los elementos de tamaño medio sea inferior al que puede representarse por una línea recta. En otras palabras, la parte gruesa de la mezcla de arena y piedra puede tener diámetros variables de una manera uniforme á partir del que tiene por valor el décimo del mayor, ó puede contener un exceso de piedra de tamaño constante cuyo diámetro sea el mismo que el de la piedra más gruesa, ó dicho de otro modo, la densidad y la resistencia de los hormigones confeccionados con piedra de diámetro constante, de diámetro uniformemente variable, ó con una mezcla de ambas con las mismas. Sin embargo, es de recomendar que se hagan ensayos en gran escala para comprobar esta afirmación, sobre todo para tener la seguridad de que con piedra de grueso uniforme el mortero no se separa de ellas.

(1) Por parte gruesa de una mezcla de arena y de piedra se entiende el conjunto de todos aquellos elementos cuyo diámetro es mayor que el décimo del correspondiente á la piedra más grande.

CUADRO XIII

| NÚMERO DE LOS PRISMAS                  |                                         | DOSIS<br>en peso | MATERIALES |           | DIÁMETRO<br>máximo<br>de la piedra.<br>—<br>mm. | DENSIDAD MEDIA                               |                                               | FLEXIÓN<br>Carga de rotura á los 90 días.<br>—<br>Kilogramos p. r. cm². |                                               | COMPRESIÓN<br>Carga de rotura á los 140 días.<br>—<br>Kilogramos por cm². |                                               |
|----------------------------------------|-----------------------------------------|------------------|------------|-----------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Piedra gruesa<br>de diámetro variable. | Piedra gruesa<br>de diámetro constante. |                  | Piedra.    | Arena.    |                                                 | Piedra<br>gruesa<br>de diámetro<br>variable. | Piedra<br>gruesa<br>de diámetro<br>constante. | Piedra<br>gruesa<br>de diámetro<br>variable.                            | Piedra<br>gruesa<br>de diámetro<br>constante. | Piedra<br>gruesa<br>de diámetro<br>variable.                              | Piedra<br>gruesa<br>de diámetro<br>constante. |
| (1)                                    | (2)                                     | (3)              | (4)        | (5)       | (6)                                             | (7)                                          | (8)                                           | (9)                                                                     | (10)                                          | (11)                                                                      | (12)                                          |
| 155-157.....                           | 187.....                                | 1 × 9            | Partida..  | Detritus. | 57                                              | 0,854                                        | 0,832                                         | 17,6                                                                    | 18,1                                          | 100,2                                                                     | 94,9                                          |
| 159-160.....                           | 188.....                                | 1 × 9            | Idem. ...  | Idem. ... | 25                                              | 0,795                                        | 0,797                                         | 15,0                                                                    | 16,1                                          | 59,7                                                                      | 66,8                                          |
| 195-196.....                           | 198.....                                | 1 × 9            | Idem. ...  | Idem. ... | 12                                              | 0,759                                        | 0,769                                         | 15,4                                                                    | 12,7                                          | 69,6                                                                      | 62,6                                          |
| 217-220.....                           | 229-230.....                            | 1 × 9            | Gravilla.  | Arena...  | 57                                              | 0,853                                        | 0,888                                         | 16,2                                                                    | 17,7                                          | 107,9                                                                     | 99,2                                          |
| 223-226.....                           | 231-232.....                            | 1 × 9            | Idem. ...  | Idem. ... | 25                                              | 0,845                                        | 0,852                                         | 18,1                                                                    | 16,4                                          | 100,2                                                                     | 95,0                                          |
| Medias.....                            |                                         |                  |            |           |                                                 | 0,821                                        | 0,828                                         | 16,5                                                                    | 16,2                                          | 87,5                                                                      | 83,7                                          |

Los ensayos relativos á la resistencia no indican si se puede ó no emplear un exceso de piedra de tamaño medio sobre la cantidad que contiene una mezcla de arena y piedra de diámetro uniformemente variable, mientras que de los de densidad se deduce que, cuando la curva de la parte gruesa es más elevada que la línea recta, aquélla decrece inmediatamente, lo cual quiere decir que cuando dicha parte gruesa tiene diámetros que varían uniformemente ó una curva inferior á la recta, es cuando se obtienen los mejores resultados.

## CONCLUSIONES 8 Y 9.

Es evidente el efecto que ejercen la arena y la piedra sobre la densidad y la resistencia de los hormigones, influyendo mucho más sobre la primera el diámetro de los granos de arena que el de las piedras, disminuyendo una y otra con un exceso de arena fina ó media. El efecto de las proporciones de los diferentes tamaños de granos fué detenidamente estudiado en los ensayos volumétricos descritos, cuyos resultados fueron confirmados por experiencias hechas en el laboratorio y en las obras.

## CONCLUSIÓN 12.

Los experimentos relativos á la densidad demuestran que si se modifica la curva mecánica ideal de una mezcla aumentando sus ordenadas, se disminuye la densidad correspondiente; la modificación hecha en los ensayos consistió en elevar la parte de la curva en que termina la elipse y empieza la recta, conservando el mismo eje mayor, pero aumentando el menor, lo cual equivalía á forrar la dosis de arena reduciendo simultáneamente la de piedra, obteniendo resultados que no son todo lo concluyentes que fuera de desear, según se deduce del examen del cuadro VIII, lo cual debe atribuirse á la pequeña diferencia que existe entre todas las curvas, al escaso número de ensayos hechos con cada una de ellas, á las variaciones que son de esperar en todos los experimentos relativos á hormigones, y por último, al hecho de que con las curvas más bajas los huecos no se llenan por completo y los resultados correspondientes carecen de seguridad. Con mezclas naturales sucede poco más ó menos lo mismo, porque las proporciones elegidas son tan semejantes que los resultados se diferencian muy poco unos de otros. Los ensayos considerados en conjunto confirman la teoría admitida, esto es, que conservando constante la relación entre el peso de cemento y el de la mezcla de arena y piedra, el hormigón es más resistente cuanto mayor es la dosis de piedra y menor la de arena, permaneciendo invariable el peso de la suma de ambas.

En el cuadro XIV se consignan los resultados de los ensayos hechos en Little Falls, N. Y. durante el año 1901 con probetas de las mismas proporciones en peso 1 × 8, variando la relación de los pesos de la arena y piedra desde 2 × 6 á 8 × 0; el examen del cuadro demuestra que en todos los casos aumentan la densidad y la resistencia cuando la arena se sustituye por un peso igual de piedra.

Cuando se hace uso de arena y gravilla naturales ó de piedra partida y detritus, pueden fijarse en todo momento las dosis relativas de arena y de piedra en forma tal que la correspondiente á la primera sea la menor posible, sin producir huecos visibles en el hormigón, en cuyo caso la masa resultante es teóricamente la más densa y la más resistente, al mismo tiempo que se trabaja y moldea con gran facilidad. En todos los casos en que se hace uso de una sola clase de arena y de piedra por resultar antieconómico la formación de una mezcla de granos de diferentes tamaños, el procedimiento de dosificación que se acaba de explicar es más sencillo y práctico que la realización de ensayos con aquel objeto; dicho procedimiento ofrece grandes ventajas cuando el grado de finura de la arena es variable, porque cuanto más fina sea la arena mejor se repartirá y se necesitará menos cantidad de ella para llenar los huecos de la piedra; además, habrá que emplear menos peso de ella en relación con el de cemento, puesto que un mortero de arena fina es más débil que otro de arena gruesa.

CUADRO XIV

| DOSIS EN PESO  | Volumen absoluto<br>del cemento. | Densidad total.<br>Cemento + Arena<br>+ Piedra. |      | FLEXION<br>Carga de rotura<br>à los 33 días.<br>—<br>Kgs. por cm². |
|----------------|----------------------------------|-------------------------------------------------|------|--------------------------------------------------------------------|
|                |                                  |                                                 |      |                                                                    |
| 1 × 2 × 6..... | 0,091                            | 0,865                                           | 22,4 |                                                                    |
| 1 × 3 × 5..... | 0,086                            | 0,833                                           | 20,0 |                                                                    |
| 1 × 4 × 4..... | 0,082                            | 0,801                                           | 14,7 |                                                                    |
| 1 × 5 × 3..... | 0,080                            | 0,799                                           | 10,6 |                                                                    |
| 1 × 6 × 2..... | 0,076                            | 0,760                                           | 7,2  |                                                                    |
| 1 × 8 × 0..... | 0,073                            | 0,754                                           | 2,9  |                                                                    |

Ω.

(Se continuará.)