

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS

PUBLICACIÓN TÉCNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES ⁽¹⁾

Durante el año 1901 se hicieron experimentos en *Little Falls N. Y.* con prismas de hormigón confeccionado con dosis en peso que variaron de 1×0 a $1 \times 6 \times 10$, con objeto de estudiar la densidad y la resistencia transversal de aquéllas, llegando á la conclusión de que esta última era función de la cantidad de cemento contenida en la unidad de volumen de hormigón fraguado, así como de la densidad de éste. Para una dosis determinada de cemento por unidad de volumen de hormigón, la mezcla más densa, independientemente de las cantidades relativas de arena y de piedra, es por regla general la más resistente.

Los experimentos demostraron también que con los materiales empleados existía una cierta combinación en el tamaño de los elementos de arena y de piedra, que producía la resistencia máxima del hormigón variable á su vez con la dosis de aquellos materiales evaluada en peso, observándose al mismo tiempo que el hormigón así confeccionado se manipulaba más fácilmente que cualquiera otro. La mezcla de arena y de piedra que produjo resultados más satisfactorios poseía una curva mecánica muy parecida á una parábola que pasa por el origen de coordenadas y por el punto de intersección de la curva correspondiente á la piedra de mayor diámetro con la línea 100 por 100, es decir, por el punto más alto de esta última curva.

En todos los experimentos de *Little Falls* se empleó piedra de la misma naturaleza y del mismo diámetro máximo, llegando á las leyes antes indicadas por el estudio de los resultados obtenidos y no por una investigación lógica.

Dichos resultados se pusieron en conocimiento de la Junta de obras del acueducto de la ciudad de Nueva York en 1903 por J. Waldo Smith, individuo de la Sociedad Americana de Ingenieros civiles, en aquella época Ingeniero Jefe de dichas obras, á cuya instancia la Junta autorizó la realización de un estudio detallado y experimental del asunto, cuyos resultados constituyen el objeto de la presente Memoria.

Los ensayos que se mencionarán más adelante se verificaron en el emplazamiento del depósito de *Jerome Park*, distrito de Bronx, donde había que confeccionar un gran volumen de hormigón bajo la inspección de la Junta, y donde se disponía, por lo tanto, de grandes cantidades de cemento, arena y piedra, así como de obreros y medios auxiliares, tanto dependientes de la Junta como de los contratistas. Se construyó, además, una ca-

seta especial con mucha luz y temperatura suave, donde se instaló el laboratorio, para el cual se adquirieron gran número de aparatos.

Según ya se ha indicado, los primeros experimentos demostraron que la resistencia máxima del hormigón para una dosis determinada de cemento tenía lugar cuando el primero poseía la mayor densidad posible, esto es, cuando el volumen de los huecos era un mínimo, así como que la densidad máxima se alcanzaba cuando la curva mecánica de todos los materiales mezclados era aproximadamente una parábola. También se juzgó muy probable que el hormigón más denso sería también el menos permeable.

Tomando como base las leyes que se acaban de mencionar, sería posible comparar los valores de los diferentes materiales con que se confeccionan los hormigones, así como la dosis más conveniente de uno cualquiera de ellos por medio de ensayos volumétricos; la mejor mezcla sería, por regla general, la que produjera el volumen más pequeño.

Los ensayos realizados por la Junta de obras del acueducto de la ciudad de Nueva York tuvieron por objeto la determinación de los límites de esta teoría, fijando la influencia que sobre la densidad, resistencia é impermeabilidad de un hormigón ejercen los materiales que le constituyen y especialmente el estudio del tamaño de los elementos de aquellos que mezclados con una cierta cantidad de cemento producen el mejor hormigón. La densidad y la resistencia de hormigones confeccionados con materiales que poseían una curva mecánica ideal, y en los que variaba el tamaño máximo de los elementos, fueron comparadas con las correspondientes á un hormigón formado con arena y piedra naturales y con la dosis adoptada en la construcción de las obras.

También se hizo un estudio comparativo sobre la permeabilidad de hormigones hechos con distintos materiales y dosis variables.

Se consideró muy necesario adquirir un conocimiento lo más completo posible sobre las propiedades físicas de los cementos, piedra partida, detritus de ésta, gravilla y arena, muy especialmente en relación con su densidad, peso, huecos, peso específico, etc., para lo cual cada material se ensayó aisladamente y mezclado con los otros en distintas proporciones.

Los primeros experimentos que se hicieron tuvieron por objeto la determinación de la densidad de varias mezclas, así como el estudio de las reglas que se debían seguir en la dosificación para obtener un maximum de densidad con los diferentes materiales de que se disponía; á continuación se confeccionaron primas de hormigón para comparar las leyes de la resistencia con las de la densidad y deducir las relaciones entre unas y otras. Ahora bien; como la resistencia del hormigón á la com-

(1) Memoria presentada por William B. Fuller y Sanford E. Thompson en la Sociedad Americana de Ingenieros civiles el 17 de Abril de 1907, y publicada en los Anales de la Sociedad, vol. XXXIII, pág. 222.

presión le caracteriza mucho mejor que su resistencia á la flexión—la cual en el caso del hormigón constituye realmente una tensión—, se acordó regularizar con cemento los extremos de los dos trozos de los prismas rotos, para romper unos por compresión y determinar con otros el coeficiente de elasticidad por compresión. Con trozos de prismas rotos convenientemente elegidos se hicieron ensayos de permeabilidad.

También se hicieron experimentos para determinar la densidad de los morteros y la cantidad de agua necesaria según el tamaño de los granos de la arena, pero no con la extensión suficiente para llegar á conclusiones definitivas; sin embargo, los resultados obtenidos no dejan de tener interés, porque indican una serie importante de investigaciones que pueden realizarse más adelante. Se acordó aceptar dichos resultados como base para ensayos posteriores sobre la permeabilidad de morteros confeccionados con cemento y arena de granos de varios tamaños, á cuyos materiales se agregó alguna cantidad de puzolana y de cal hidráulica.

Conclusiones.

Las siguientes conclusiones han sido deducidas de los experimentos; varias de ellas introducen leyes nuevas y otras están en oposición con las ideas hasta ahora admitidas de una manera corriente. Aunque dichas conclusiones se basan en ensayos verificados únicamente con dos clases de materiales, son tan característicos que los resultados comparativos tienen general aplicación.

Mientras no se haga alguna advertencia, se entenderá que la cantidad de cemento y las relativas de arena y de piedra permanecen constantes.

1. Cuanto mayor es el tamaño de la piedra partida, mayor es también la resistencia del hormigón á la compresión y á la flexión; es decir, que con una mezcla de arena y de piedra partida cuyos elementos varíen de diámetro uniformemente hasta un máximo de 57 milímetros, se confeccionará un hormigón más resistente que si dicho máximo es 50 milímetros, y mucho más que si fuera 25 milímetros. Un hormigón en el cual el diámetro máximo de los granos de la mezcla de arena y de piedra es 50 milímetros, exigirá que la cantidad de cemento se aumente en una sexta parte con relación á la empleada cuando aquel diámetro máximo es 57 milímetros para que los dos hormigones tengan la misma resistencia; el aumento sería un tercio si dicho diámetro máximo fuera 25 milímetros.

2. Cuanto mayor es el tamaño de la piedra, mayor es la densidad del hormigón.

3. En igualdad de condiciones, la gravilla produce hormigones más densos que la piedra partida.

4. Los hormigones confeccionados con arena son más densos que los confeccionados con detritus pétreos, siempre que el diámetro de los granos de ambos materiales sea el mismo.

5. Cuando para formar los hormigones se emplea piedra partida, la resistencia es mayor que cuando se hace uso de la gravilla, no variando la calidad de la arena ni la del cemento (á pesar de que la segunda produce hormigones más densos que la primera), hecho que demuestra mayor adherencia del cemento con la piedra partida que con la gravilla. Sin embargo, cuando la arena se sustituye con detritus, sin variar el diámetro de los granos, el hormigón hecho con gravilla es más resistente, probablemente por su mayor densidad.

6. Cuando la mezcla de arena y de piedra se ha preparado previamente de tal manera que el diámetro de sus elementos crece de una manera uniforme, á fin de que amasados con el cemento y el agua produzcan una masa cuya densidad sea un máximo, entonces el hormigón resultante es mucho más resistente que el confeccionado con materiales naturales, sin alterar, por supuesto, las cantidades relativas de todos ellos. El aumento de resistencia que se alcanzó en los ensayos con esta manera de proceder fué el 14 por 100. Comparando los resultados de los

ensayos de resistencia hechos con hormigones con dosis variables de cemento, se observa que para que un hormigón confeccionado con la mezcla artificial de arena y de piedra tenga la misma resistencia que otro en el que estos elementos se encuentren en estado natural, el primero necesita un 12 por 100 menos de cemento que el segundo, siempre que en uno y en otro sean iguales las cantidades de arena y de piedra.

7. La disminución en la cantidad de la piedra de tamaño medio y el aumento en la de la correspondiente al máximo ejercen una influencia muy pequeña en la densidad y en la resistencia del hormigón, pero un exceso en la primera las disminuye sensiblemente.

8. En la densidad y en la resistencia de un hormigón ejerce más influencia la desigualdad de los granos de arena que la de las piedras.

9. Un exceso de granos finos ó medios de arena reduce la densidad y la resistencia de un hormigón, efecto que produce en los áridos la escasez de granos finos.

10. La sustitución de la arena fina por cemento no influye en la densidad de la mezcla, pero aumenta su resistencia en una relación algo inferior á la correspondiente al incremento de la dosis de cemento.

11. De las conclusiones anteriores se deduce que la dosificación exacta de un hormigón, por lo que hace á su resistencia, consiste en encontrar, para una dosis cualquiera de cemento, la mezcla de mayor densidad, disminuyendo ó aumentando después aquélla, sustituyéndola por arena fina en el primer caso y reduciendo la cantidad de ésta en el segundo (1).

12. En el procedimiento corriente de dosificación con una arena y piedra determinadas y con una cierta dosis de cemento se obtiene el hormigón más denso y más resistente cuando el volumen de la mezcla de arena, cemento y agua es preciso para llenar los huecos de la piedra. En otras palabras, en la práctica general de la construcción se debe emplear la menor cantidad posible de arena y la mayor de piedra, con la condición de que en el hormigón no se formen huecos visibles.

13. La mejor mezcla de cemento, arena y piedra posee una curva de análisis mecánico parecido á una parábola, curva que está constituida por una elipse y una tangente á ésta: la primera corresponde á la arena y la segunda á la piedra. La elipse se extiende hasta un diámetro que es el décimo del máximo de la piedra, á partir del cual los diámetros de esta última crecen uniformemente.

14. Las curvas mecánicas ideales de diferentes materiales coinciden unas con otras aproximadamente.

15. La forma de la curva mecánica ideal correspondiente á un material cualquiera no varía con el tamaño de la piedra, es decir, que las curvas para piedras cuyos tamaños máximos sean respectivamente 57, 50 y 25 milímetros, pueden representarse por una ecuación cuya única variable es el diámetro máximo. Es decir, que si suponemos trazada la curva ideal para el diámetro máximo 57 milímetros, esta misma curva para el diámetro máximo 50 y 25 milímetros, sin más que variar la escala en forma tal que la ordenada que representaba el diámetro 57 milímetros represente sucesivamente los 50 y 25 milímetros. La única diferencia que existe entre estas curvas se reduce á que la parte relativa á la arena es un poco más alta en las que tienen mayor diámetro máximo.

16. De la conclusión anterior se deduce que lo que debe considerarse como arena no puede definirse de una manera absoluta, considerada la cuestión desde un punto de vista exclusivamente científico. Con piedra cuyo diámetro máximo es 57 milímetros, la mejor arena es la constituida por granos que tengan sus diámetros comprendidos entre 0 y 5,6 milímetros, mientras que si aquel diámetro máximo es 25 milímetros, las de la me-

(1) La confirmación de esta ley exige ensayos más completos, cuya realización salía del cuadro que comprendía los que constituyen el objeto de la presente Memoria.

por arena correspondiente variarán desde 0 hasta 1,3 milímetros.

17. La permeabilidad de un hormigón disminuye más rápidamente que aumenta la dosis de cemento.

18. La permeabilidad disminuye también cuando aumenta el diámetro máximo de la piedra.

19. El hormigón de cemento de arena y gravilla es menos permeable que el de cemento, detritus y piedra partida; es decir, que para obtener un grado de permeabilidad determinado habrá que gastar menos cemento con materiales de granos redondos que con los de granos angulosos.

20. El hormigón confeccionado con cemento, arena y piedra partida es más permeable que el de cemento, arena y gravilla, y menos que el de cemento, detritus y piedra partida.

21. La permeabilidad del hormigón disminuye con el tiempo, aumenta con la presión de una manera uniforme y también con la disminución del espesor de la masa, pero en una relación mucho mayor.

Análisis mecánico (1).

Se llama análisis mecánico de un material cualquiera como la piedra partida, la gravilla, la arena ó el cemento, la clasificación de sus granos ó elementos por tamaños y el trazado de curvas cuyas abscisas representen los diámetros de las mallas de los cedazos y sus ordenadas la fracción centesimal del peso del material ensayado que pasa por cada uno de aquéllos.

El objeto de las curvas de análisis mecánico, ó curvas mecánicas, como se llamarían de aquí en adelante para abreviar, por lo que se refiere á los materiales que constituyen un hormigón, es:

1. Representar de una manera gráfica los tamaños absolutos y relativos de los elementos de dichos materiales.
2. Dar á conocer los tamaños que producen los hormigones más perfectos y facilitar á los Ingenieros el modo de mejorar las condiciones de los materiales que tienen á su disposición.
3. Proporcionar medios para determinar la dosis más conveniente de cemento, arena y piedra.

Materiales.

Cemento.—En todos los ensayos se hizo uso del cemento procedente de los cargamentos destinados á las obras del depósito, á excepción de algunos experimentos comparativos en los que se empleó cemento de otras procedencias. El cemento se sometía al ensayo corriente, y con cada saco del destinado á los que se van á describir se hizo además la prueba de pureza, habiéndose observado que todo el cemento empleado en el año 1904 para la fabricación de los prismas con resultado poco satisfactorio no resistía esta prueba, mientras que aquel que la aguantaba era un buen cemento desde el punto de vista químico.

La prueba de pureza consiste en lo siguiente: en un tubo de ensayo de un decímetro de diámetro se coloca cemento en la cantidad que puede recibir una moneda de 5 céntimos, se agrega un poco de agua y ácido clorhídrico hasta que se cubra toda la masa, que se agita después con una varilla de cristal. Cuando el cemento es puro, se produce una ligerísima efervescencia con desprendimiento de gases, formándose un líquido de color amarillento sin depósito alguno; pero si contiene carbonato de cal de cualquier procedencia que sea, la efervescencia será muy violenta y el desprendimiento de gases muy abundante, no apareciendo el líquido de color amarillo hasta que tanto una como otra han cesado. Cuando el cemento contiene arena, cuarzo ó sílice mezclado, la disolución no es completa y se forma en el fondo del tubo de ensayo un sedimento de materia insoluble. El cemento adulterado en una de las dos formas que se acaba de explicar debe rechazarse.

Los ensayos de tracción hechos con el cemento adoptado dieron el resultado siguiente:

	EDAD EN DÍAS		EDAD EN MESES					
	1	7	1	2	3	4	5	6
Cargas medias de rotura en kilogramos por centímetro cuadrado...	15,32	39,07	46,24	48,21	49,75	46,10	51,86	52,98

Arena y piedra.—En los ensayos se hizo uso de la piedra y de los detritus procedentes de las machacadoras del depósito, así como de la arena y gravilla dragada del río.

Las dos primeras se pasaron por cribas móviles para eliminar las piedras cuya dimensión máxima pasaba de 50 milímetros y para repasar los detritus, cuya medición se hacía independientemente de la de la piedra.

Los prismas confeccionados en 1904 se hicieron con el material que salía de las machacadoras sin preparación alguna, y se destinaron al estudio comparativo, pero no muy exacto, de la influencia de la composición del hormigón en su resistencia, en tanto se hacían los ensayos sobre la densidad, constituyendo éstos un preliminar necesario para el estudio de las mezclas que con todo esmero se hicieron durante el año 1905.

Para los ensayos sobre la densidad y para la confección de probetas se hizo la reparación de los elementos de la piedra y de los detritus en el laboratorio con veintidós cedazos; cuyas mallas tenían diámetros que variaban desde 76 hasta 0,07 milímetros. Mezclando en diferentes proporciones los grupos separados por los cedazos, fué posible obtener una variedad infinita de hormigones.

Caracteres de la piedra partida.—Es un esquistoso que contiene aproximadamente el 35 por 100 de mica, pero en forma tal que no influye desfavorablemente en la resistencia del mortero ó del hormigón. La roca extraída del emplazamiento del depósito no tenía composición uniforme, lo cual dificultó los trabajos de laboratorio y dió lugar á que los resultados de los ensayos de densidad y la formación de las mezclas no fueran tan seguros como lo hubieran sido si aquella composición fuera constante. La diferencia principal entre unos bancos y otros la constituía la cantidad de cuarzo que contenían, que modificaba el color de los productos. La roca natural poseía algunos minerales cuyo peso específico variaba de 2,6 á 3,2, circunstancia que influía en el correspondiente á los productos de las machacadoras y producía al mismo tiempo variaciones en el peso específico de los grupos separados por los cedazos y procedentes de la misma roca, por la sencilla razón de que no todos los minerales que entran en la composición de ésta se machacan con la misma facilidad, y, por lo tanto, serán distintos los que predominen en cada grupo.

Caracteres de la gravilla y arena de la bahía de Cowe.—Proceden de un banco de arena y gravilla lavadas por el agua, completamente limpias y constituidas casi exclusivamente por elementos de cuarzo; su peso específico, bastante uniforme, es 2,65.

Análisis mecánico de la arena y piedra.—En el cuadro I se consigna el análisis mecánico medio de los materiales considerados.

Clasificación de la arena y de la piedra en el laboratorio.—Esta operación se hizo con cedazos de 0,2 m² de superficie, colocados uno sobre otro en un bastidor que podía recibir siete de aquéllos y en forma análoga á los cajones de una cómoda, es decir, que se pudiera retirar uno cualquiera independientemente de los demás. Los bastidores se apoyan sobre dos piezas de madera de 5 centímetros de espesor con forma trapecial, cuya base menor es la inferior, dispuestas de tal manera que al balancear el bastidor los cedazos reciben un movimiento de deslizamiento

(1) La descripción de los procedimientos y aparatos para el análisis mecánico y para el trazado de las curvas puede estudiarse en la obra de Taylor y Thompson *Concrete, Plain and Reinforced*.

lateral y una sacudida. El aparato dió un resultado bastante satisfactorio, pero habia que tomar algunas precauciones para lograr uniformidad en los grupos, así como tener cuidado de no poner en él cargas excesivas; también hubiera sido muy conveniente la instalación de un contador del número de sacudidas.

Ensayos volumétricos.

Métodos para determinar la densidad.—Como trabajo preliminar para los ensayos de prismas, se confeccionaron unas 400 mezclas con materiales de elementos de distintos tamaños, em-

CUADRO I

Diámetro de las mallas en mm.	PIEDRA PARTIDA			DETRITUS — Tanto por 100 que pasa.	GRAVILLA			ARENA — Tanto por 100 que pasa.
	Diámetro máximo = 57 mm. Tanto por 100 que pasa.	Diámetro máximo = 25 mm. Tanto por 100 que pasa.	Diámetro máximo = 13 mm. Tanto por 100 que pasa.		Diámetro máximo = 57 mm. Tanto por 100 que pasa.	Diámetro máximo = 25 mm. Tanto por 100 que pasa.	Diámetro máximo = 13 mm. Tanto por 100 que pasa.	
57,00	100,0	"	"	"	100,0	"	"	100,0
38,10	78,4	"	"	"	94,2	"	"	100,0
25,40	41,8	100,0	"	"	81,8	100,00	"	100,0
19,05	29,9	71,5	"	"	67,3	82,27	"	100,0
15,24	18,4	44,2	"	100,0	44,8	54,77	"	100,0
12,19	11,4	27,3	100,0	99,7	26,4	32,28	100,00	97,9
9,14	6,8	16,3	59,6	99,1	14,0	17,12	53,03	96,2
7,36	3,6	8,6	31,6	96,9	8,6	10,51	32,57	95,0
5,08	1,9	4,5	16,7	92,8	5,05	6,17	19,13	93,7
4,06	1,3	3,1	11,4	87,2	3,40	4,16	12,88	91,8
2,54	1,0	2,4	8,7	80,7	1,76	2,15	6,67	88,9
1,91	0,67	1,6	5,8	76,7	1,57	1,92	5,95	85,1
1,17	0,61	1,4	5,3	70,8	1,38	1,69	5,23	78,9
0,86	0,58	1,39	5,0	66,3	1,28	1,56	4,85	68,3
0,51	0,55	1,32	4,8	55,8	1,09	1,33	4,13	62,4
0,41	0,48	1,15	4,2	47,8	0,98	1,20	3,71	49,9
0,36	0,47	1,12	4,1	43,2	0,80	0,98	3,03	37,3
0,18	0,32	0,76	2,8	21,0	0,47	0,57	1,78	31,8
0,15	0,27	0,64	2,3	15,4	0,43	0,53	1,63	7,1
0,09	0,19	0,45	1,6	6,7	0,26	0,32	0,98	4,6
0,07	0,01	0,24	0,8	2,3	0,01	0,01	0,04	2,3
								1,3

Diámetro de la arena y piedra.—Los diámetros que figuran en los cuadros correspondientes á las mallas de los cedazos, es decir, que representan el tamaño del mayor elemento que puede pasar por ellos, sistema que se ha creído más conveniente que el de designar los grupos por el número comercial del cedazo correspondiente. En el cuadro II se consignan los números comerciales de los cedazos y al lado de cada uno el diámetro de sus mallas.

CUADRO II

Cedazos.

Diámetro de las mallas. mm.	Diámetro de los elementos que pasan por el cedazo. mm.	Diámetro de las mallas. mm.	Diámetro de los elementos que pasan por el cedazo. mm.	Número comercial del cedazo.	Diámetro de los elementos que pasan por el cedazo. mm.	Número comercial del cedazo.	Diámetro de los elementos que pasan por el cedazo. mm.
57,0	57,0	9,14	9,14	10	1,91	50	0,36
38,1	38,1	7,36	7,36	15	1,17	74	0,18
25,4	25,4	5,08	5,08	20	0,83	100	0,15
19,05	19,05	4,06	4,06	30	0,51	150	0,09
15,24	15,24	2,54	2,54	40	0,41	200	0,07
12,19	12,19						

Se adoptó un número de cedazos tan grande que los ensayos duraron mucho tiempo, siendo probable que aquél se pueda reducir si los experimentos demuestran que puede hacerse tal cosa sin efecto apreciable sobre los resultados finales.

pezando con una dosis de cemento que era el 10 por 100 del peso total de los materiales secos y con la cantidad de agua precisa para que todas las mezclas tuvieran la misma consistencia media, conservando constante el peso de los materiales secos y comparando los volúmenes resultantes. Los ensayos de densidad, denominados volumétricos en esta Memoria, se hicieron por el procedimiento general (que más adelante se describirá) adoptado por la Comisión francesa en 1904, calculando los volúmenes de los materiales por los métodos usados por M. R. Feret para determinar los volúmenes elementales y absoluto.

Pesadas.—La dosificación se hizo siempre por peso. Los detritus se calentaron en una estufa hasta que no ofrecían señales de humedad; pero la experiencia enseñó que cuando llevaban algún tiempo conservadas en el laboratorio durante el invierno, la humedad que pudieran retener no ejercía influencia apreciable en las pesadas que se hicieron en una balanza, con la que se podían apreciar 5 gramos; pero generalmente no se pasó de los 10.

Medición de los volúmenes.—Para verificar esta operación se hizo uso de un cilindro de hierro fundido cerrado por uno de sus extremos y de un émbolo; el primero tenía 20 cm. de diámetro interior y 23 de altura, habiendo sido calibrado con todo cuidado para cada unidad de profundidad con objeto de medir los volúmenes por el descenso de la varilla del segundo.

Para los ensayos de las mezclas confeccionadas con piedra de los mayores tamaños se construyó un cilindro de 30,5 cm. de diámetro interior por 45,5 de altura; pero la experiencia se encargó de demostrar que no era necesario, porque los resultados obtenidos con uno y otro cilindro eran muy poco diferentes.

Para fijar la dosis de los materiales que habían de mezclarse para confeccionar los hormigones, se hizo uso de las curvas mecánicas antes descritas. La masará de 0,2 m³ por 7,5 cm. de profundidad, con las paletas, pisones y demás herramientas se

colocó en uno de los platillos de la balanza, que se equilibró anotando el peso leído; entonces se colocaron sucesivamente los diferentes grupos de arena y de piedra, empezando por los más finos, haciendo las pesadas en forma tal que cada una de ellas comprendiera los pesos de cada grupo y de todos los anteriores, el cemento se colocaba el último y sobre todos los demás.

Mezcla.—Se hizo con dos obreros colocados en los costados opuestos de la masera, los cuales con grandes paletas revolvían los materiales en seco hasta que la mezcla ofrecía un color uniforme; entonces se la disponía en forma de anillo, en cuyo centro se vertía el agua, continuando el amasado hasta obtener una mezcla homogénea.

No fué posible fijar de antemano la dosis de agua para todas las mezclas, porque en éstas variaba entre límites bastante amplios el diámetro de los elementos de la arena y de la piedra. La cantidad de agua necesaria es tanto más grande cuanto mayor es la dosis de material de grano fino.

La cantidad de agua era la necesaria para obtener una masa con tal consistencia que conservara con dificultad su forma en la masera, pero que al mismo tiempo no fuera tan fluida que pudiera deslizar el mortero sobre las piedras. Se tenía mucho cuidado en pesar el agua tomada, así como la sobrante después de hecha la mezcla, y la que fluía después de colocada ésta en el cilindro de que antes se ha hablado, de manera que el peso anotado en las hojas de ensayos es el del agua que contiene el hormigón al empezar á fraguar.

Apisonado.—El hormigón, previamente pesado, se colocaba en el cilindro, en capas de 5 centímetros de altura que se apisonaban sucesivamente con un pisón de hierro fundido, constituido por un disco de unos 10 centímetros de diámetro con su mango correspondiente. Se adoptó un espesor tan reducido para las capas de hormigón por ser tan pequeño el cilindro, cuyas paredes, con su rozamiento, podían dificultar la simultaneidad del fraguado de toda la masa de hormigón aun cuando tuviese un exceso de agua si aquél se apisonase después de colocado en el cilindro, en cuyo caso la altura sería 15 centímetros.

La mezcla que dió mejores resultados fué la que tenía la consistencia antes indicada con las muy secas, la manipulación se hace con dificultad, y puede suceder que en su masa se formen huecos de algún volumen; el total de hormigón es próximamente el mismo con mezclas secas que con las que tengan la consistencia adaptada. Las confeccionadas con mucha agua no dan tan buen resultado, probablemente porque el mortero no tiene suficiente plasticidad, exigiendo también materiales de granos más fríos que los de aquellas mezclas.

Separación del exceso de agua.—A medida que el hormigón se apisona, el exceso de mortero que pueda existir afluye á la superficie, separándose el agua, la cual forma una capa cuyo espesor varía de 3 á 6 milímetros, que se extrae después de aclarada, descontándose su peso del correspondiente al agua empleada en el amasado del hormigón.

Pesadas finales.—Se pesó el cilindro que contenía el hormigón, como comprobación de los pesos de los materiales secos y del agua, así como la masera y demás útiles empleados en la confección de aquél con objeto de conocer el peso de los materiales á ellas adheridos y tenerle en cuenta en la forma que se indicará más adelante.

Medida del volumen de hormigón.—Una vez extraído el exceso de agua acumulada sobre la superficie del hormigón se iguala ésta de manera que ninguna piedra sobresalga, se coloca el cilindro sobre un tripode que permita darle una posición horizontal, y se introduce en él el émbolo sin ejercer una presión excesiva que pudiera dar lugar á que el mortero refluyera entre las paredes del cilindro y el émbolo; la varilla de éste lleva una marca cuya distancia á su base inferior es conocida, de modo que apagando una regla sobre el cilindro y midiendo su distancia á dicha marca podrá conocerse el volumen de hormigón, con lo cual se termina el experimento.

CUADRO III

Modelo de estado para los ensayos volumétricos.

1	Número.....	377 1/2
2	Fecha.....	3, 10, 05
3	Mezcla.....	"
4	Marca del cemento.....	"
5	Peso de cemento.....	1,00
6	Idem de arena más fina que 0,18 mm.....	0,40
7	Idem de idem más gruesa y de piedra.....	10,00
8	Idem del agua con la vasija.....	13,15
9	Idem id.....	12,45
10	Idem id.....	0,70
11	Idem total de la mezcla.....	12,10
12	Idem de la masera y útiles sucios.....	5,96
13	Idem id. id. limpios.....	5,93
14	Idem del mortero adherido.....	0,03
15	Idem de la regadera mojada.....	0,93
16	Idem id. seca.....	0,92
17	Idem del agua adherida.....	0,01
18	Idem neto de la mezcla 11 - (14 + 17).....	12,06
19	Idem del agua en el mortero adherido á la masera - $\frac{10 \times 14}{5 + 6 + 10}$	0,01
20	Idem neto del agua en el mortero útil = 10 - (17 + 19).....	0,63
21	Idem del cemento en el mortero útil = $5 - \frac{5 \times 14}{5 + 6 + 10}$	0,98
22	Idem de la arena más fina que 0,18 mm. en el mortero útil = $6 - \frac{6 \times 14}{5 + 6 + 10}$	0,89
23	Peso de la arena más gruesa que 0,18 mm. y de la piedra.....	10,00
24	Altura del hormigón en el cilindro, cm.....	15,20
25	Volumen de hormigón, dc. ³	4,8)
26	Peso neto de agua mezclada por dc. ³ $\frac{10}{25}$	0,15
27	Idem id. útil por dc. ³ $\frac{20}{25}$	0,14
28	Idem id. cemento útil por dc. ³ $\frac{21}{25}$	0,20
29	Idem id. arena y piedra por dc. ³ $\frac{22 + 23}{25}$	21,65
30	Volumen absoluto de agua útil por dc. ³ $\frac{27}{1}$	0,14
31	Idem id. cemento útil por dc. ³ $\frac{28}{3,141}$	0,06
32	Idem id. de arena y piedra por dc. ³ $\frac{29}{2,671}$	0,81
33	Idem id. total, 30 + 31 + 32.....	1,01
34	Peso del molde con el hormigón.....	35,00
35	Idem id.....	23,00
36	Idem hormigón.....	18,00
37		
38	Temperatura del agua.....	
39	Duración del amasado.....	
40	Observaciones sobre la consistencia.....	

Presentación de los datos y de los resultados.—El cuadro III es un modelo de la manera de presentar los resultados de los experimentos y los cálculos posteriores hechos con aquéllos para llegar al conocimiento de los elementos que interesa conocer. Como consecuencia de lo que ha enseñado la experiencia, se ha supuesto que el mortero que se adhiere á la masera y á los útiles está constituido por cemento, agua y granos de arena de un diámetro inferior á 0,18 milímetros. El peso del agua en el mortero que se adhiere puede deducirse por medio de la siguiente proporción:

Mortero adherido : Mortero fino total = Agua en el mortero adherido : agua total, ó refiriendo ésta á los números de las partidas consignadas en el cuadro anterior

$$\frac{14}{5 + 6 + 10} = \frac{19}{10}$$

Los volúmenes absolutos que representan las partidas 30, 31 y 32 son los volúmenes netos por decímetro cúbico de hormigón divididos por el peso específico del material correspondiente. Dichos volúmenes absolutos representan sencillamente la relación entre el volumen actual de cada material y el total de hormigón confeccionado, relaciones que son las que sirven de base para comparar las diferentes mezclas.

Dosificación para obtener el máximo de densidad.—Los ensayos volumétricos de hormigón comenzaron en 1904 con objeto, en un principio, de determinar las mezclas artificiales de arena y de piedra clasificadas por medio de las curvas mecánicas que producían hormigones con densidad máxima. Conocidas dichas mezclas ideales, con ellas y con arena y piedra naturales se confeccionaron hormigones que se compararon entre sí con relación á su densidad, resistencia y permeabilidad, deduciéndose de los resultados obtenidos la dosificación más conveniente del hormigón que había de confeccionarse con materiales naturales para emplearle en las obras.

La mayor parte de los ensayos se hicieron con una relación constante entre la cantidad de cemento y la de arena y piedra; esta relación fué el 10 por 100 para los detritus y la piedra y un poco diferente para la arena y la gravilla á causa de la diferencia entre los pesos específicos, que es necesario tener en cuenta para que las relaciones de los volúmenes absolutos sean las mismas. En los primeros ensayos para determinar la dosificación que producía la densidad máxima se adoptaron curvas mecánicas constituidas por trozos de parábolas y rectas, así como otras intermedias entre éstas. En los últimos ensayos verificados durante el invierno de 1904 á 1905 se modificó esta manera de proceder, haciendo las mezclas sin sujeción á curva alguna, dibujando las correspondientes á las mezclas que dieron mejores resultados y expresándolas en ecuaciones, de tal manera que pudieran aplicarse con facilidad á los diferentes materiales y dibujarse con prontitud.

Con objeto de llegar lo más pronto posible á conclusiones definitivas, únicamente se hicieron ensayos con dos clases de hormigón por lo que se refiere á las condiciones de la arena y de la piedra; uno con detritus y piedra partida, otro con arena y gravilla lavadas, y ambos con dosis crecientes de cemento á partir del 10 por 100.

Necesidad de emplear cemento en los ensayos de densidad.—Podría discutirse la necesidad de emplear cemento en los ensayos de densidad que tuvieran por objeto la determinación de la mezcla más conveniente de elementos de tamaños diferentes de arena y de piedra. ¿No sería mucho más sencillo y más expedito emplear arena y piedra en seco para llegar á conocer la mezcla que á igualdad de peso tiene el volumen mínimo?

Ahora bien; tanto la teoría como la experiencia demuestran que las mezclas de arena y de piedra, que poseen una densidad máxima cuando secas, no conservan esta propiedad cuando se les agrega agua y cemento, puesto que estos elementos contribuyen á aumentar el volumen de aquella mezcla, tanto porque parte de los huecos son demasiado pequeños para que en ellos puedan alojarse los granos de arena, como porque el agua al rodear los granos de arena fina y de cemento aumenta el volumen de la masa. Por otra parte, el peso por unidad de volumen de la arena muy fina sin comprimir y completamente seca es próximamente el mismo que el correspondiente á una arena de granos gruesos y seca; pero si, tanto una como otra se mezclan con agua y cemento en la misma proporción por peso ó por volumen absolutamente seco, el mortero confeccionado con arena fina tendrá un volumen mayor que el hecho con arena gruesa en un 20 por 100, siendo menor la densidad del primero que la del segundo. En el volumen y densidad de los morteros influye la dosis de cemento con relación á la de arena.

Si se hiciera uso de una arena fina, cuyos granos tuvieran el mismo tamaño que los del cemento, entonces mezclándola con agua sin cemento se hubiera obtenido la misma densidad que sustituyendo aquella por éste.

Ensayos de densidad con piedra partida de 57 mm.—De acuerdo con la hipótesis admitida y confirmada posteriormente de que los granos de cemento actúan como los de arena por lo que se refiere á la densidad, se incluyó á aquél en el análisis de las curvas mecánicas. Partiendo de ensayos previos se adoptó una cierta curva mecánica y se determinó la densidad de la mezcla correspondiente; después se modificó la curva aumentando ó disminuyendo la cantidad de uno ó de varios de los grupos que la constituían, haciéndose á continuación los ensayos volumétricos. Siguiendo esta marcha estudiaron las densidades de varias mezclas de piedra partida y detritus procedentes de *Jerome Park* con un 10 por 100 de cemento marca *Giant*.

Con una mezcla uniforme de arena y de piedra se obtuvieron los mejores resultados cuando la curva mecánica correspondiente tenía una forma parecida á la de la parábola, ó precisando más, cuando la parte inferior de aquélla era una elipse y la superior una recta tangente á ésta y que pasa por el punto que teniendo por abscisa el diámetro 57 mm. su ordenada es la correspondiente á 100 por 100. La curva arranca con diámetros muy pequeños hasta la ordenada 7 por 100, lo cual quiere decir que por lo menos el 7 por 100 del peso de los materiales debe estar constituido por granos de arena ó de cemento ó de ambos, cuyos diámetros sean muy pequeños para que el hormigón resultante sea denso.

Al estudiar las curvas de densidad se tuvieron presentes los experimentos de Mr. A. E. Schütté, al servicio de la Compañía *Warren Brothers*, de Boston, sobre las mezclas de arena y de piedra que habían de emplearse en los firmes de asfalto que tenía que construir aquella Compañía, los cuales en realidad sólo se diferencian del hormigón en la sustitución del cemento por el asfalto. Mr. Schütté llegó á la conclusión de que la mezcla más densa y la que daba mejores resultados en la práctica era aquella en la que el 50 por 100, aproximadamente, del peso de arena y de piedra estaba constituido por piedra del diámetro máximo y de tamaño uniforme. En las obras del depósito de *Jerome Park* se hicieron ensayos de densidad con mezclas de esta composición, con objeto de comparar sus resultados con los obtenidos antes para las mezclas uniformes de arena y de piedra, resultando que el hormigón confeccionado con las primeras era un poco más denso que el hecho con las segundas. Los prismas fabricados con uno y otro hormigón ofrecieron pequeñas diferencias por lo que se refiere á su resistencia.

Ensayos de densidad con piedra de 25 y 12,5 milímetros.—Se hicieron ensayos análogos á los que se acaban de describir con mezclas uniformes de arena y de piedra, cuyo diámetro máximo era 25 y 12,5 milímetros con el 10 por 100 de cemento en peso, obteniéndose curvas muy parecidas á las anteriores, con la única diferencia de que el origen de la parte recta correspondió á un diámetro más pequeño, cuyo valor es aproximadamente el décimo del mayor empleado en la mezcla, circunstancia que indica la posibilidad de que una sola curva sirva para todos los tamaños de piedra, pero cuya ecuación tenga un término que sea función del diámetro máximo. Se observó que la forma de las curvas no era única para los diferentes tamaños de la piedra, siendo necesario introducir una pequeña constante en los valores de los ejes de las elipses para que una sola ecuación sirviese para todos los diámetros.

Cemento y arena fina.—Los experimentos descritos se han hecho en la hipótesis de que, por lo que se refiere á la densidad, el papel del cemento es el mismo que el de la arena cuyos granos tienen el mismo diámetro que los de aquél, por cuya razón se le incluyó en el estudio de las curvas mecánicas. Para comprobar dicha hipótesis se hicieron otros ensayos, conservando las mismas curvas, pero variando las dosis de cemento desde 8 por 100 al 15 por 100 del peso total de arena y de piedra, encontrando que la densidad de estas nuevas mezclas era próximamente la misma que la de la primeramente ensayada.

De lo expuesto se deduce que la dosificación de hormigones de densidad máxima, pero cuyas resistencias varíen, no se re-

duce tan sólo á aumentar la dosis si lo que hace falta es una mezcla más rica, sino que al mismo tiempo se debe reducir en la misma cantidad el volumen absoluto de los granos de arena de igual diámetro que los de cemento.

Ensayos de densidad con arena y gravilla lavadas.—Con hormigones confeccionados con arena y gravilla se repitieron los ensayos de densidad en una forma completamente análoga á como se hicieron las relativas á hormigones de detritus y piedra partida, ensayos que eran de gran interés para poner en claro el valor relativo de cada uno de los dos materiales y que podían servir de base para un estudio económico comparativo en cualquier localidad.

Los ensayos se hicieron con dos hormigones, uno confeccionado con gravilla, arena y cemento, y el otro con piedra partida, arena y cemento, obteniéndose curvas semejantes á las deducidas anteriormente para los hormigones de piedra partida y detritus, con la única diferencia de que por efecto de la forma redondeada de la arena y gravilla los huecos son menores, y por lo tanto, la densidad del primer hormigón fué mayor que la del segundo á igualdad de dosificación, exigiendo menos material fino para alcanzar el maximum de densidad; las curvas correspondientes á la mezcla de arena y de gravilla tenían más pequeña la ordenada, cuya abscisa es el décimo del diámetro máximo de la piedra. La mezcla de piedra partida y arena lavada exigió más material fino que la de gravilla y la misma arena, pero menos que la de piedra partida y detritus.

Arena ideal.—De los ensayos hechos no parece deducirse que los caracteres de la mejor arena dependan de la forma de las piedras, puesto que la arena que daba mejores resultados con la piedra partida los daba también con la gravilla, sin más diferencia que con ésta se necesitaba menos cantidad.

Ecuaciones de las curvas ideales de análisis mecánico.

Habiendo encontrado experimentalmente las mejores curvas mecánicas para cada clase de material y para cada tamaño, se sustituyeron aquéllas por otras que tuvieran una ecuación sencilla, con objeto de facilitar su dibujo. Como ya se ha dicho, las curvas están constituidas por una elipse y una recta tangentes, arrancando todas ellas tangencialmente al eje vertical en el origen de la horizontal 7 por 100, es decir, que por lo menos el 7 por 100 de la arena, piedra y cemento pasa por el cedazo número 200; los ejes de las elipses varían con la naturaleza de los materiales, empezando la recta en un punto cuya abscisa representa un diámetro, que es próximamente el décimo del que tienen las piedras de mayor tamaño y terminando en el de intersección de la ordenada del diámetro máximo con la horizontal 100 por 100.

La ecuación general de una elipse con relación á sus ejes es:

$$y = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - x^2}$$

y refiriendo el origen de coordenadas al punto $x = -a$ $y = -7$

$$(y - 7)^2 = \frac{b^2}{a^2} (2ax - x^2).$$

Los valores de a y b para varias mezclas de materiales, incluyendo el cemento, son:

MATERIALES	a	b
Piedra partida y detritus.....	0,889 + 0,14 D	746,76 + 2,2 D
Gravilla y arena.....	1,016 + 0,16 D	670,56 + 1,3 D
Piedra partida y arena.....	1,016 + 0,16 D	723,90 + 1,3 D

D es el diámetro máximo de la piedra en milímetros.

No debe olvidarse que los experimentos sobre densidad se hicieron con hormigones confeccionados en circunstancias especiales, perfectamente amasados, comprimidos y moldeados, esto es en condiciones muy diferentes de las que se manipulan en obra, razón por la cual deben modificarse los valores encontrados, aumentando el valor de b , y, por lo tanto, la cantidad de arena. Las fórmulas que conviene emplear en las aplicaciones se consignan más adelante en el cuadro V.

Ensayos de prismas.

Durante el tiempo invertido en los experimentos que tenían por objeto la determinación de las condiciones necesarias para obtener mezclas de densidad máxima y antes de conocer los resultados de aquéllos, se construyeron varios prismas con cemento, detritus y piedra partida procedentes las dos últimas de las machacadoras del depósito de *Jerome Park*, á fin de que los obreros se adiestraran en el manejo de los aparatos y en la manipulación de los hormigones. Se moldearon 143 prismas cuya densidad y resistencia se determinaron, consignándose en el cuadro IV los resultados de algunas de ellas; por regla general las resistencias fueron bajas por causa del cemento, según ya se indicó anteriormente, pero sus relaciones se diferencian poco de las correspondientes á los experimentos de *Little Falls* (1).

Tan pronto como fueron conocidos los resultados de los experimentos sobre densidad realizados en 1905, se construyeron prismas para comparar la resistencia de los hormigones hechos con diferentes materiales y con cantidades variables de elementos de cada uno de los diámetros, determinándose las dosis de cemento, arena y piedra, así como la constitución granulométrica de las mezclas por medio de las curvas mecánicas estudiadas anteriormente para obtener hormigones con densidades máximas. Las resistencias de estas probetas ideales se compararon con las correspondientes á otras mezclas dosificadas con arreglo á curvas mecánicas artificiales que en los ensayos volumétricos demostraron que los hormigones producidos tenían menos densidad, con objeto de comprobar la ley general que establece que el hormigón más denso es también el más resistente, siempre que la dosis de cemento sea constante. Las resistencias de estos hormigones se compararon con las de los confeccionados con materiales naturales y con la dosificación adoptada en la práctica, variando al mismo tiempo el tamaño de la piedra. También se hicieron estudios comparativos de la resistencia de hormigones confeccionados con piedra partida y detritus, con piedra partida y arena, y cementos de diferentes marcas, con la correspondiente á las mezclas de cemento puro.

De cada clase de hormigón se hicieron dos prismas, pero cada uno de ellos se confeccionaba independientemente con objeto de conocer con toda exactitud el peso de los materiales. En algunas circunstancias y por abreviar se construyó un solo prisma de algunas mezclas; pero los resultados obtenidos no tenían tanta seguridad, porque son pocas tres roturas por flexión y dos por compresión para que su media dé una idea perfecta de las condiciones del material.

Manera de preparar los materiales para la dosificación natural.—Se hicieron algunos hormigones con las dosis corrientes

$$1 \times 2 \frac{1}{2} \times 6 \frac{1}{2}, 1 \times 3 \times 6 \text{ y } 1 \times 3 \frac{1}{2} \times 5 \frac{1}{2}$$

para compararlos con los dosificados teóricamente. Como el material procedente de las machacadoras variaba de forma y de composición con mucha frecuencia, tanto por efecto de su manipulación como por la falta de uniformidad de los bancos, se adoptó una mezcla cuya curva mecánica venía á ser la media de las correspondientes á varios lotes. Las curvas de los dos materiales que habían de formar cada hormigón con el cemento y el agua se dibujaron en el mismo diagrama y se combinaron en la proporción

(1) Descritos en la obra de Taylor y Thompson *Concrete Plain and Reinforced*, pág. 258.

CUADRO IV

Composición y resistencia a la flexión de prismas de hormigón confeccionado con detritus y piedra partida cuyos diámetros varían desde 2 hasta 57 mm. Dimensiones de los prismas: 15,2 × 15,2 × 183 cms.—Luces: 76 y 152 cms.

Número del prisma.	DOSIS EN PESO			Peso en kilogramos de cada material por m ³ de prisma.							Volumen calculado de cada material por unidad de volúmenes de prismas.							Volumen de huecos.			Carga de rotura.						
	0	A	P	Cemento.	Arena.	Piedra.	Total.	Agua.	TOTALES			Cemento.	Arena.	Piedra.	Total de arena y piedra.	Total de material seco.	Agua.	Total.	Comento.	Arena y piedra.	Total.	Edad en días.	Roturas.	Máx.	Mín.	Media.	
									Mesclados.	(8)	(9)																(10)
(1)	2	2	0	1500	477	477	1908	346	1999	2254	1984	2262	0,307	0,168	0,171	0,389	0,646	0,346	0,992	0,327	0,027	0,354	112	6	43	38	40,5
73	1	0	0	1082	874	874	1748	408	2276	2156	1818	2159	0,281	0,308	0,308	0,589	0,408	0,997	0,299	0,112	0,411	88	3	37	27	32	
18-14	1	0	0,8	650	680	680	2040	294	2507	2384	2094	2387	0,219	0,240	0,244	0,708	0,294	0,997	0,283	0,064	0,347	112	6	37	26	26,5	
29	1	0	2,5	550	874	874	2040	294	2507	2384	2094	2387	0,219	0,240	0,244	0,708	0,294	0,997	0,283	0,064	0,347	56	3	27	21	23	
80	1	0	2,5	550	874	874	2040	294	2507	2384	2094	2387	0,219	0,240	0,244	0,708	0,294	0,997	0,283	0,064	0,347	98	2	25	21	23	
43-44	1	0,5	0,5	954	477	477	1908	346	2254	2156	1818	2159	0,281	0,308	0,308	0,589	0,408	0,997	0,299	0,112	0,411	112	6	43	38	41	
82-83	1	1	0	680	680	680	2040	294	2507	2384	2094	2387	0,219	0,240	0,244	0,708	0,294	0,997	0,283	0,064	0,347	112	6	37	31	34	
45-46	1	1	1	373	878	878	2641	205	2816	2641	2641	2788	0,107	0,118	0,118	0,598	0,205	1,028	0,114	0,063	0,177	112	6	22	15	18,5	
35-36	1	1	5	282	564	564	2266	211	2467	2379	2463	2463	0,091	0,199	0,503	0,793	0,211	1,004	0,097	0,110	0,207	112	4	15	9	12	
53-54	1	2	7,5	221	442	442	1668	190	2511	2389	2497	2497	0,071	0,166	0,597	0,793	0,211	1,004	0,097	0,110	0,207	112	4	15	9	12	
37-38	1	2	7,5	221	442	442	1668	190	2511	2389	2497	2497	0,071	0,166	0,597	0,793	0,211	1,004	0,097	0,110	0,207	112	4	15	9	12	
121-122	1	3	0	438	1314	1314	3654	392	4746	4444	3654	4444	0,141	0,466	1,398	1,014	0,190	2,014	0,076	0,100	0,176	112	4	15	9	12	
49-50	1	3	2	338	1014	1014	2742	298	3640	3326	2855	3326	0,109	0,358	1,014	0,607	0,392	1,008	0,116	0,150	0,243	84	6	23	21	22	
15-16	1	3	4	275	825	825	2250	245	2445	2222	2423	2423	0,089	0,292	0,866	0,777	0,245	1,022	0,095	0,128	0,230	112	2	15	11	13	
78	1	3	6	222	666	666	1832	246	2466	2466	2433	2433	0,072	0,236	0,715	0,787	0,246	1,083	0,077	0,136	0,213	56	2	6	5	5,5	
21-22	1	3	7	206	618	618	1442	210	2476	2476	2457	2457	0,067	0,220	0,642	0,809	0,210	1,019	0,071	0,120	0,191	56	2	6	5	5,5	
83-89	1	4	0	350	1400	1400	3950	406	4466	4156	3662	4156	0,113	0,494	1,484	1,067	0,406	1,484	0,113	0,150	0,243	112	4	12	10	11	
94-95	1	4	3	253	1012	1012	2742	302	3322	3322	3144	3322	0,081	0,272	0,804	0,711	0,302	1,013	0,086	0,120	0,191	112	3	16	13	14,5	
5-6	1	4	6	202	808	808	2122	245	2467	2467	2338	2439	0,095	0,285	0,833	0,783	0,245	1,028	0,069	0,148	0,217	112	2	11	8	9,5	
57-58	1	4	9	165	660	660	1485	219	2529	2529	2323	2439	0,083	0,284	0,821	0,768	0,219	1,040	0,056	0,123	0,179	112	1	11	8	9,5	
90-91	1	5	0	298	1490	1490	3950	371	4321	4156	3662	4156	0,113	0,494	1,484	1,067	0,406	1,484	0,113	0,150	0,243	112	3	16	13	14,5	
76	1	6	0	248	1498	1498	3950	418	4568	4321	3829	4321	0,096	0,325	0,951	0,821	0,371	1,092	0,102	0,127	0,179	112	3	15	8	9,5	
11-12	1	6	7	149	894	894	2386	248	2634	2598	2398	2647	0,048	0,166	0,503	0,608	0,418	1,025	0,085	0,130	0,182	56	3	12	7	7,5	
25-26	1	6	12	122	732	732	1964	229	2547	2547	2398	2647	0,048	0,166	0,503	0,608	0,418	1,025	0,085	0,130	0,182	56	3	12	7	7,5	
107-108	1	8	0	190	1520	1520	3950	422	4372	4156	3829	4321	0,061	0,259	0,785	0,824	0,229	1,053	0,042	0,134	0,176	112	1	5	3	4,5	

Volumen de la unidad de peso de cemento... = 1,00
 Idem id. id. arena... = 1,06
 Idem id. id. piedra... = 1,03

Peso de la unidad de volumen de cemento... = 100,00
 Idem id. id. arena... = 94,8
 Idem id. id. piedra... = 97,0

Resistencia del cemento a la tracción: a los 7 días, 38 kgs. por cm²; a los 28 días, 40 kgs. por cm²; a los 6 meses, 48 kgs. por cm².

Análisis mecánico.

ARENA		PIEDRA	
Diámetro de las mallas, mm.	Tanto por 100 que pasa.	Diámetro de las mallas, mm.	Tanto por 100 que pasa.
15,24	100	57,00	100
5,08	98	25,40	42
2,54	81	12,19	11
0,86	66	2,54	1
0,41	48		
0,18	21		
0,07	2		

La columna (9) = columna (3) × 0,08 + columna (6) representa el minimum teórico, admitiendo un 8 por 100 de agua para la combinación química.

La columna (10) = columna (6) + columna (9) representa el maximum teórico, en la hipótesis de que los huecos se llenan con agua.

conveniente por los métodos ordinarios de combinar las curvas mecánicas.

Los pesos de las partículas de cada tamaño que contienen los prismas hechos con mezclas naturales se dedujeron de las curvas combinadas, con lo cual se eliminaban las diferencias que pudiera haber entre los materiales machacados ó dragados y se obtenían mezclas medias bastante exactas.

Curvas mecánicas adoptadas.—Las curvas correspondientes á las mezclas adoptadas de arena, piedra y cemento se dibujaron con todo cuidado, consignándose en el cuadro V las ecuaciones de todas ellas y los valores de las constantes.

Al hacer los ensayos se observó que había que emplear más arena que la indicada por las curvas que daban los mejores resultados con relación á la densidad en los experimentos volumé-

tricos, por cuya razón las curvas adoptadas son uniformemente más altas que aquéllas, habiéndose dibujado en el número mayor que el necesario, según el programa de los ensayos. Los primeros hormigones se dosificaron tomando por base las mejores curvas deducidas al hacer los experimentos sobre densidad; pero muy pronto se notó la conveniencia de elevar en todas ellas el punto de tangencia de la parte curva con la recta en un 2 por 100 para evitar que la superficie de los prismas resultase con desigualdades, prueba evidente de que el mortero no era suficiente para llenar los huecos de la piedra; los prismas en que ocurrió esto llevan una nota en la columna de Observaciones del cuadro de resultados, siendo de poca confianza las densidades y resistencias correspondientes.

CUADRO V

Ecuaciones de las curvas de análisis mecánico empleadas para la dosificación de los hormigones con que se confeccionaron las vigas en los ensayos de 1905.

Elipses: (1) $(y - 7)^2 = \frac{b^2}{a^2} (2ax - x^2)$. (2) $y = \frac{b^2}{a^2} \sqrt{a^2 - x^2}$

Línea recta: $y = \frac{2540 - y_1}{D - x_1} (x - x_1) + y_1$.

Parábola: $y = 7 + 100 \sqrt{bx}$

a y b son los ejes de las elipses y parábolas.

D es el diámetro máximo de la piedra en mm.

Número de las curvas.	NÚMERO DE LAS VIGAS	VALORES GENERALES		VALORES NUMÉRICOS						OBSERVACIONES
		a mm.	b mm.	D = 57		D = 25		D = 12		
				a mm.	b mm.	a mm.	b mm.	a mm.	b mm.	
Piedra partida y detritus. (Elipse y recta.)										
(1)	155, 157, 151, 152, 164, 179, 180, 183, 184, 193.	0,889 + 0,14 D	746,76 + 2,2 D	8,87	872,16	4,39	801,76	2,57	773,16	Curva ideal.
(2)	148, 153, 154, 178	0,889 + 0,14 D	696,00 + 2,2 D	8,87	821,4	4,39	751,00	2,57	722,4	"
(3)	156, 153, 195, 196, 159, 160, 181, 182, 185, 186, 197	0,889 + 0,14 D	797,56 + 2,2 D	8,87	922,96	4,39	852,56	2,57	823,96	"
(4)	189, 190, 191	0,889 + 0,14 D	873,76 + 2,2 D	8,87	999,16	4,39	923,76	2,57	900,16	"
(5)	149	"	"	11,42	919,40	"	"	"	"	Curva especial.
(6)	150	"	"	11,42	970,20	"	"	"	"	Idem.
Piedra partida y detritus. (Parábola y recta.)										
(7)	144, 145	"	$\frac{3\sqrt{D}}{29}$	"	581,60	"	761,98	"	"	Curva especial.
(8)	146, 147	"	$\frac{3\sqrt{D}}{32}$	"	619,80	"	812,76	"	"	Idem.
Piedra partida y arena. (Elipse y recta.)										
(9)	217, 229, 223, 226, 259, 224, 225, 233	1,016 + 0,16 D	670,56 + 1,3 D	10,16	736,59	5,08	711,18	3,05	685,78	Curva ideal.
(10)	234	0,889 + 0,14 D	746,76 + 2,2 D	8,87	872,16	"	"	"	"	Curva (1).
(11)	235	0,889 + 0,14 D	797,56 + 2,2 D	"	"	4,39	852,56	"	"	Curva (3).
Gravilla y detritus. (Elipse y recta.)										
(12)	213, 214, 216, 218	1,016 + 0,16 D	723,70 + 1,3 D	10,16	787,30	5,08	761,98	3,05	736,58	Curva ideal.
(13)	201, 202	1,016 + 0,16 D	673,10 + 1,3 D	"	711,10	5,08	711,10	"	"	"
(14)	200	1,016 + 0,16 D	647,70 + 1,3 D	10,16	"	"	"	"	"	"
(15)	209, 210, 211, 212	1,016 + 0,16 D	698,50 + 1,3 D	10,16	761,98	5,08	736,58	3,05	711,10	"
(16)	219	0,889 + 0,14 D	746,76 + 2,2 D	8,87	863,58	"	"	"	"	Curva (1).
(17)	215	0,889 + 0,14 D	797,56 + 2,2 D	"	"	4,45	863,58	"	"	Curva (3).

Métodos y aparatos.—Tanto para pesar los materiales que habían de entrar en la composición de los hormigones para los prismas como para su manipulación, se emplearon los mismos procedimientos y aparatos que para los ensayos volumétricos anteriormente descritos.—Ω.

(Se continuará.)

CIMENTACIÓN SOBRE PILARES Y PILOTES DE HORMIGÓN

Se construye en los actuales momentos en Nueva York una torre de 213,50 metros de altura, con el objeto de tener un monumento destinado á diversiones públicas.

La armadura metálica de 88,50 metros de diámetro en la base, cuyo peso ascenderá á 8.000 toneladas, cuenta, en la parte inferior, 49 columnas descansando sobre 41 pilares rectangulares de hormigón, establecidos ellos mismos sobre pilotes de hormigón armado.

Cuarenta de estos pilares están colocados en tres círculos concéntricos y el 41 en el centro.

El reparto se hace del modo siguiente:

Sobre el circuito interior, de 18^m,61 de diámetro, 8 pilares; sobre el de en medio, de 70^m,46 de diámetro, 16 pilares espaciados alternativamente 11^o,15' y 33^o,45'; en fin, sobre el círculo exterior, de 88^m,50 de diámetro, 16 pilares colocados sobre la prolongación de los radios que subdividen el círculo medio.

Diez y seis pilotes se encuentran bajo el pilar central, 25 bajo cada uno de los pilares de los dos círculos interiores y 9 bajo los pilares del círculo exterior.

Además, 55 pilotes aislados están distribuidos según dos circunferencias trazadas entre el primer y el segundo círculo de pilares; hay, pues, en total 815 pilotes.

El suelo está desmontado hasta 0^m,30 bajo la cabeza de los pilotes, de manera que éstos están empotrados en los pilares de hormigón cuyo espesor es de 0^m,685, para los que son soportados por 9 pilotes y de 0^m,785 para los otros. Las varillas de las armaduras de los pilotes están introducidas en el hormigón de los pilares, de modo que procuren una cierta resistencia al levantamiento; aunque esta precaución no sea indispensable, la obra presenta un momento de resistencia suficiente aun para los mayores vientos.

La torre está situada á 250 metros más allá del límite de la marea alta, en un punto en que el suelo está formado exclusivamente de arena fina, en la cual los pilotes de cimentación se hunden 9^m,15 metros. Estos pilotes son del sistema Raymond, que consiste en hundir en el suelo una delgada envolvente metálica de forma cónica, haciendo uso á este efecto de un sólido núcleo de acero.

Después de la hincada se eleva el núcleo y la envolvente se rellena de hormigón. El diámetro de estos pilotes varía de 0^m,20 en la parte inferior y 0^m,50 en la superior; tiene fuerza para contener 75 toneladas, pero cada uno de ellos no se carga más que con 37 toneladas.

Para la hincada de los núcleos de acero se hace uso de un martinete con montantes metálicos de 16^m,80 de altura, fijados inferiormente á vigas en doble T de 7^m,65 de longitud, las cuales descansan en una placa giratoria de 3^m,05 de diámetro. Rodillos establecidos bajo esta placa permiten avanzar ó retroceder al martinete, de manera que, por movimientos muy sencillos, es posible hincar todos los pilotes de un mismo grupo.

Se practica primero un agujero de 7^m,50 de profundidad, en el cual se coloca el núcleo de acero con su envolvente.

Este núcleo, cuyas dimensiones son las mismas que las de los pilotes, se compone de tres partes, divididas según las generatrices y que permanecen ligeramente separadas durante la hincada.

Cuando la envolvente, que queda en su lugar, ha llegado á la profundidad deseada, se permite á las generatrices que separan las tres partes del núcleo aproximarse, de modo que éste se retira con facilidad. Esta envolvente, que está provista de una zapata cilíndrica de acero de 0^m,45 de longitud, está formada de cuatro partes unidas telescópicamente y puestas en su sitio de la manera siguiente: estando el núcleo suspendido del martinete de tal modo que su extremidad inferior se encuentre á 2^m,45 por encima del suelo, la parte superior de la envolvente se desliza sobre el núcleo tan lejos como sea posible, de manera que se adhiera á aquél; se opera lo mismo sucesivamente con las secciones siguientes. Finalmente, una vez fijada la zapata, se desciende el conjunto en el agujero formado por el chorro hidráulico y después se empieza la hincada.

La impermeabilidad de las juntas entre las diversas partes de la envolvente se obtiene, ya recubriéndolas exteriormente de un cubrejuntas, ya calafateándolas. Cinco varillas de acero de 0^m,018 de diámetro y de 7^m,95 de longitud, empotradas en el hormigón de los pilotes y excediendo en una cierta cantidad á las envolventes metálicas, establecen la ligazón con los pilares.

El hormigón se compone de 1 de cemento, 3 de grava y 5 de arena.—O.

LAS ATMÓSFERAS CONFINADAS

M. Albert Lévy ha dado ante la Sociedad de Ingenieros civiles de Bélgica una conferencia sobre este interesante tema.

Después de haber recordado las desastrosas consecuencias que produce la insalubridad de nuestras habitaciones, M. Lévy manifiesta que no es siempre una garantía absoluta de una buena instalación higiénica el número de metros cúbicos de aire, que es necesario todavía, y sobre todo una aereación enérgica para evitar los peligros que presentan las atmósferas confinadas.

Apoya su razonamiento con numerosas estadísticas referentes á la tisis relativas á trabajadores al aire libre en locales cerrados ó en atmósferas confinadas.

El conferenciante atribuye la insalubridad de los lugares á dos causas distintas:

- 1.^a Las combustiones que se efectúan en nuestras habitaciones (calefacción, alumbrado), la respiración humana que roba al aire su oxígeno y que si no es renovado suficientemente, al disminuir la proporción de oxígeno, la respiración de los seres que en estos medios viven viene á ser anormal, y aquí la anemia.
- 2.^a Las combustiones que necesitan la calefacción y el alumbrado y los productos de la respiración producen de una manera continua gases tóxicos que envenenan con más ó menos rapidez.

Resulta, pues, que el doble problema que hay que resolver es el siguiente:

- 1.^o Asegurarse que una atmósfera confinada no contiene gases tóxicos.
- 2.^o Asegurarse que la proporción de oxígeno permanece suficiente para conservar una respiración normal.

En el primero, el de los *gases tóxicos*, hay gases que tienen olor suficiente para que sea revelada su presencia; pero el óxido de carbono es inodoro y produce la intoxicación sin darse cuenta de ello, aun cuando exista en muy pequeñas proporciones.

MM. Albert Lévy y Péroul han construido un aparato que descubre la presencia de una cienmilésima de óxido de carbono.

El autor describe por completo este aparato que está fundado en la reducción del ácido yódico por el óxido de carbono y en las coloraciones que toma el cloroformo bajo la influencia de los vapores del yodo puesto en libertad.

En el segundo caso, el de la *calidad del aire respirable*, es difícil medir con rapidez y exactitud la proporción de oxígeno que tiene el aire; pero es, al contrario, muy fácil dosificar la proporción del ácido carbónico que ha sustituido al oxígeno.