

Preparación del hormigón

Santiago, 22 de Julio de 1932.

El distinguido Ingeniero argentino, don Nicanor Alurralde, Jefe de la Sección Construcción de la Dirección de los Ferrocarriles del Estado de la República Argentina tuvo la gentileza de enviarme hace algunos meses, un folleto muy interesante acerca de algunos factores importantes, de los cuales depende la obtención de un buen hormigón.

Estimando que hay conveniencia en divulgar estas ideas que, aunque conocidas, se encuentran dispersas en varios libros, me he atrevido a solicitar de la Comisión de Redacción de ese Instituto, la inclusión del folleto en referencia en los ANALES de la Institución, en la esperanza de que sea de alguna utilidad a nuestros colegas.

Saluda atte. a Uds.

G. QUIRÓS.

A la Comisión de Redacción del Instituto de Ingenieros de Chile.

Algunos factores importantes, de los cuales depende la obtención de un buen hormigón

1.—DEBE EVITARSE EL EXCESO DE AGUA EN EL MEZCLADO

EL exceso de agua en el mezclado debilita el hormigón. Las mezclas chirlas sacrifican la resistencia. Un litro de agua en exceso sobre la cantidad necesaria en una mezclada de una bolsa, disminuye la resistencia del hormigón tanto como si se quitaran 2 o 3 kilos de cemento. El hormigón se endurece a causa de las reacciones químicas entre el portland y

el agua, la cantidad de agua en el mezclado es, por ello, tan importante como la cantidad de cemento.

La resistencia del hormigón depende de la relación entre el volumen del agua de mezclado y el volumen de cemento $\left(\frac{W}{c}\right)$. Siempre que la mezcla sea manejable, cuanto menor sea la relación agua-cemento tanto más resistente será el hormigón. Así, disminuyendo la cantidad de agua en el mezclado y aumentando la cantidad de cemento, se aumen-

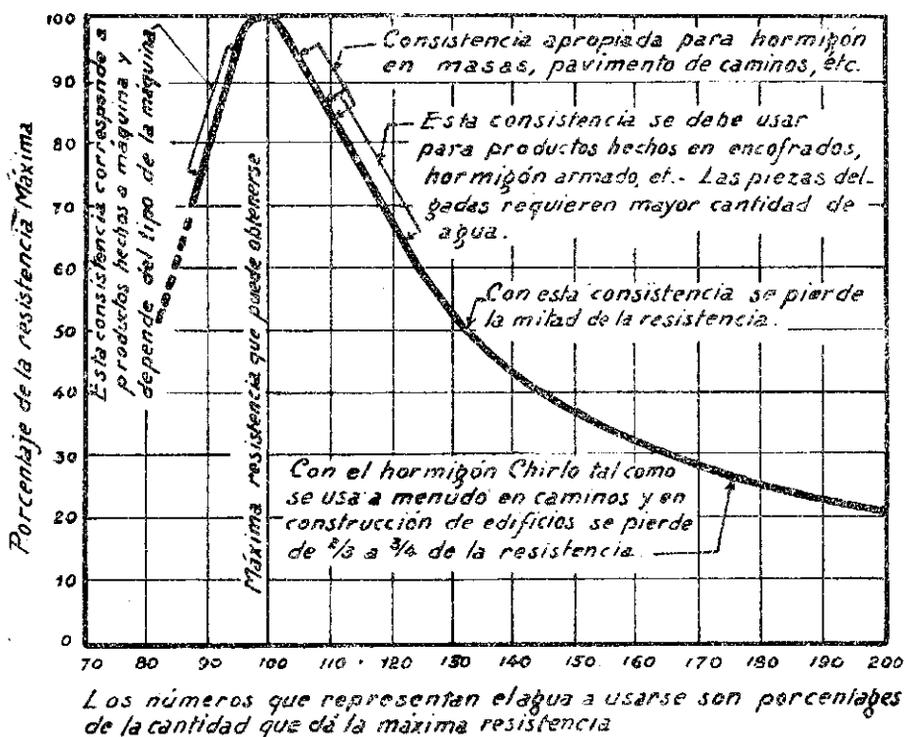


Fig. 1.—Efecto de la cantidad de agua en el mezclado sobre la resistencia a la compresión del hormigón.

NOTA.—En la construcción general raramente puede obtenerse la resistencia máxima, pero es posible obtener de 70 a 95% de la resistencia máxima sin gasto adicional disminuyendo la cantidad de agua en el mezclado.

ta por los dos medios la resistencia del hormigón. Con proporciones dadas, la cantidad de agua en el mezclado debe reducirse tanto como sea posible, usando la estrictamente necesaria para obtener una mezcla plástica (fig. 1).

La curva de la Fig. 1, muestra el efecto de la cantidad de agua de mezclado en la resistencia del hormigón. Es un promedio de los resultados obtenidos con muchas mezclas y agregados (arena, piedras). Los datos en los cuales se basa fueron obtenidos de muchos miles de experiencias en el Laboratorio de Investigación de Materiales de Construcción, del Instituto Lewis, de Chicago, Illinois;

las mezclas a la derecha de la línea de resistencia máxima eran plásticas, las de la izquierda no lo eran.

En trabajos generales de construcción, rara vez puede asegurarse la máxima resistencia, porque la mezcla sería demasiado rígida para el manipuleo, pero puede obtenerse con facilidad del 70 al 90% de la máxima resistencia. Esto sería un gran mejoramiento sobre los métodos usuales, desde que gran parte del hormigón que se coloca en la actualidad contiene de 50 a 100% más agua de la necesaria y por ello adquiere sólo una mitad y a veces sólo una cuarta parte de la resistencia que podría adquirir.

En la fabricación de productos de hormigón, tales como bloques y ladrillos, la inversa es cierta, con frecuencia. Como los moldes se quitan muy pronto, la mezcla debe ser muy firme y por ello puede contener muy poca agua para alcanzar la máxima resistencia. Obsérvense las mezclas a la izquierda de la línea de resistencia máxima en Figura 1. En tales casos el hormigón más resistente se obtendrá con una mezcla más plástica, lo que obliga a dejar los moldes más tiempo en su sitio.

En la construcción general, las condiciones de trabajo requieren una mezcla plástica. Por ello una regla prudente para el trabajo de construcción es usar la menor cantidad de agua en el mezclado, que dé una mezcla suficientemente plástica para el trabajo a mano.

La resistencia al desgaste, que es de primordial importancia en pavimentos de hormigón, pisos y veredas, aumenta con la resistencia a la compresión. Así cuanto menor cantidad de agua se use en el mezclado, tanto mayor será la resistencia al desgaste del hormigón.

A causa de las variaciones en el contenido de humedad, la absorción y el tamaño del agregado (arena y piedra), en general, no puede determinarse de antemano la can-

tidad de agua que requiere una mezcla dada a un grado de consistencia determinada.

El agregado puede contener bastante agua para reducir considerablemente la cantidad de agua necesaria para el mezclado, la arena fina o pequeños guijarros requieren más agua en el mezclado que



Fig. 2.—Haciendo la «prueba de asentamiento».

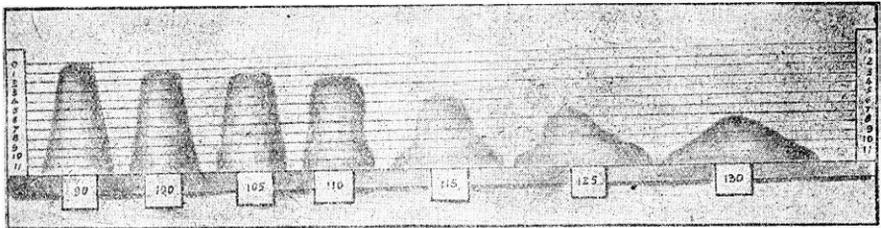


Fig. 3.—Después de llenar el molde se vuelca con cuidado. La magnitud del asentamiento indica la resistencia

la arena gruesa o grandes guijarros, sin cantidades aproximadas, aplicables a las embargo, en la siguiente tabla se dan condiciones usuales.

TABLA 1.—Cantidad aproximada de agua para el mezclado requerida por el hormigón.

| Mezcla | | Mezcla aproximada como se expresa generalmente | | | Agua requerida litros por bolsa de cemento | |
|---------|---|--|----------|--------|--|--------|
| Cemento | Volumen de agregado después de mezclado | Cemento | Agregado | | Mínimo | Máximo |
| | | | Fino | Grueso | | |
| 1 | 3 | 1 | 1¼ | 2½ | 23 | 25 |
| 1 | 4 | 1 | 1½ | 3 | 25 | 27 |
| 1 | 4½ | 1 | 2 | 3 | 26 | 28 |
| 1 | 5 | 1 | 2 | 4 | 27 | 29 |
| 1 | 6½ | 1 | 2½ | 5 | 33 | 35 |
| 1 | 7¾ | 1 | 3 | 6 | 38 | 40 |

El agua en el mezclado llena dos funciones en el hormigón; primero hidrata el cemento y segundo, produce una consistencia que permite el manipuleo. Las mezclas ricas requieren menos agua por bolsa de cemento que las pobres, porque el menor volumen del agregado exige menos agua en el mezclado para adquirir una consistencia dada.

Las mezclas para hormigón armado generalmente deben ser más plásticas que aquellas para hormigón en masas o para pavimentos. Por ello necesitan más agua en el mezclado y la resistencia necesaria sólo puede obtenerse usando más cemento. Es obvio que se hace economía al limitar la cantidad de agua en el mezclado a la menor cantidad posible.

La consistencia a usarse depende de la naturaleza del trabajo. Para trabajos en masas, veredas y pavimentos, el hormigón debe ser bastante rígido. Para pisos de hormigón armado la consistencia debe ser un poco más plástica, de manera

que el hormigón pueda llevarse sin dificultad a su lugar, alrededor de las armaduras.

Para la construcción de paredes delgadas de hormigón armado la mezcla debe ser más plástica aún. Sin embargo, para toda clase de trabajos la consistencia será tan rígida como sea posible. Las mezclas extremadamente húmedas no deben usarse nunca.

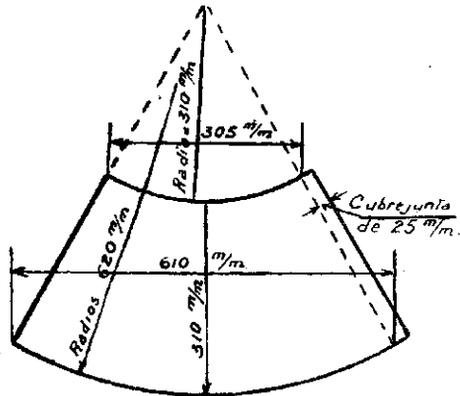
La consistencia se mide y se regula fácilmente por la «prueba de asentamiento». Mediante su uso en la obra la cantidad de agua usada en el mezclado del hormigón puede controlarse con bastante exactitud. El único aparato necesario es un molde hecho de una lámina metálica, de forma de tronco de cono, la circunferencia superior es de 10 cm. de diámetro, la inferior de 20 cm. y la altura 30 cm. (véase Fig. 4) y una barra de metal de 18 mm. de diámetro y 55 cm. de largo, con punta. Este equipo puede hacerse por poco dinero en cualquier hojalatería.

Se llena el molde con el hormigón a ensayarse, colocando el hormigón en capas de unos 10 cm. de alto y trabajándolo con la barra puntiaguda de metal. A fin de asegurar resultados uniformes, las especificaciones de la American Society of Testing Materials establecen que cada capa debe apisonarse exactamente 30 veces. Levántese el molde inmediatamente y médase el asentamiento del hormigón (Fig. 2).

El hormigón que experimente un asentamiento de 1 a 2,5 cm. contendrá sólo un pequeño exceso de agua sobre la cantidad necesaria para la máxima resistencia, pero será demasiado rígido para la mayor parte de los trabajos de construcción; se dice que un hormigón de esta clase tiene una *consistencia relativa* de 1,00. El hormigón que contenga 10% más de agua se dice que tiene una *consistencia relativa* de 1,10 y dará un asentamiento de 7,5 a 10 cm.; 25% más de

agua da una *consistencia relativa* de 1,25, con un asentamiento de 15 a 17,5 cm.; 50% más de agua da una *consistencia relativa* de 1,50 con un asentamiento de 20 a 25 cm. La Fig. 3 muestra una relación típica entre *consistencia relativa* y asentamiento. El «Progress Report of Joint Committee on Standard Specifications for Concrete and Reinforced Concrete» (edición de Junio de 1921), recomienda los siguientes asentamientos máximos:

| | centímetros |
|---|-------------|
| Hormigón en masas..... | 5 |
| Hormigón armado: | |
| secciones verticales delgadas. | 15 |
| secciones pesadas | 5 |
| secciones horizontales delgadas y encerradas..... | 20 |
| Caminos y Pavimentos: | |
| terminados a mano..... | 10 |
| terminados a máquina..... | 2.5 |
| Mortero para terminar pavimentos | 5 |



Esto puede cortarse de una hoja de 38 cm. de ancho por 66 cm. de largo, que no sea de menor espesor que el N°20.

Fig. 4.—Diagrama para efectuar el corte del metal para hacer el tronco de cono que se usa en la prueba de asentamiento.

Para aplicar la prueba de asentamiento en el trabajo, debe estimarse el míni-

mum de asentamiento que puede usarse y así obtener la *consistencia necesaria*

del hormigón. Debe ensayarse frecuentemente las hormigonadas al asentamiento para poder así aumentar o disminuir la cantidad de agua de acuerdo. Un capataz o inspector competente puede fácilmente controlar la cantidad de agua, y de acuerdo a ello, la resistencia del hormigón producido.

Recuérdese en todo momento que cada balde en exceso de agua en el mezclado disminuye la resistencia del hormigón tanto como si se hubieran quitado a la mezcla dos baldes de cemento. Debe cuidarse que la cantidad de agua en el mezclado sea tan pequeña como sea posible para la clase de trabajo que se tiene en obra. Todas las hormigonadas deben ser de la misma consistencia.

2.—CÓMO HACER IMPERMEABLE EL HORMIGÓN

El hormigón hecho con agregados seleccionados, debidamente combinados con cemento portland en proporciones convenientes, bien mezclado y llevado durante la mezcla a la debida consistencia, cuidadosamente colocado y adecuadamente protegido durante el primer tiempo del fragüe, será impermeable bajo todas las condiciones ordinarias.

Hormigón impermeable significa buen hormigón. Unos pocos principios fundamentales de buena construcción deben observarse cuidadosamente. Pueden sintetizarse en lo siguiente:

1. Todas las partes de la estructura deberán ser suficientemente fuertes para resistir la presión del agua ya sea interna o externa, a la cual debe estar sometido el hormigón.

2. Debe usarse agregados limpios y del tamaño correspondiente.

3. Debe usarse una mezcla relativamente rica, de 1-2-3 o mejor aún de 1-1 1/2-3.

4. Usar la menor cantidad posible de agua en el mezclado, que dé sin embargo una mezcla manejable y de consistencia plástica; pero nunca más de 27 litros por bolsa de cemento.

5. Mezclar el hormigón cuidadosamente, y al menos durante 1 1/2 minutos cada hormigonada.

6. Colocar el hormigón cuidadosamente en capas de 15 a 30 cm. de espesor, trabajándolo con la espadilla o la barra para impedir la formación de acumulaciones de piedra o vacíos.

7. Si es posible, colocar el hormigón en una operación continuada para evitar juntas de construcción. Si la colocación se interrumpe es preciso estar seguro de conseguir un buen vínculo entre el concreto fresco y el colocado previamente.

8. Manténgase el concreto caliente y húmedo durante los primeros 10 días.

Durante las experiencias efectuadas por el U. S. Bureau of Standards, fueron sometidas a una presión de 4,2 kg/cm²., una serie de lozas de mortero pobre de cemento 1:6, y de concreto 1:1 1/2:2.

A pesar de que el agua penetró 4 cm. en lozas de piedra calcárea, en períodos que variaron entre 20 segundos y 20 minutos, fué preciso esperar 3 1/2 horas para que el agua penetrara al través de la loza de 5 cm. de espesor de mortero 1:6, en tanto que al final de la experiencia que duró 24 horas, la loza de 5 cm. de espesor de hormigón 1:1 1/2:2 estaba seca todavía.

Actualmente se hallan en uso cientos de tanques de hormigón a objeto de depositar fuel oil, el cual es más liviano que el agua, y esos tanques son impermeables para el aceite, luego lo son para el agua.

Las fundaciones de hormigón, los pozos, puentes y tanques serán impermeables si se toma el cuidado debido en su construcción. La experiencia y los ensayos han mostrado que siguiendo las

anteriores reglas generales se llega a hacer impermeable el hormigón.

3.—CÓMO AFECTA A LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN LA GRADACIÓN DE LOS AGREGADOS

El cemento portland, que forma sólo 15 a 25 % del volumen del hormigón, es cuidadosamente ensayado a fin de verificar si llena exactamente las especificaciones. Los agregados, los cuales constituyen el 75 al 85 % del volumen del hormigón, también *debieran ser ensayados*. Los agregados deben ser limpios, libres de películas de materias extrañas al grano o de impurezas orgánicas y sanos del punto de vista estructural. Más aún, el tamaño y gradación apropiada de los agregados o la proporción

y gruesos, de tamaño y gradación ampliamente diferente, puede ponerse de acuerdo con las especificaciones usuales en lo que a ellas se refieren. Si se combinan en proporciones arbitrarias, tal como 1:2:4, algunos de ellos formarán mejor hormigón que otros. Para obtener los mejores resultados debe determinarse una proporción para cada caso, de modo que convenga con los agregados particulares que hayan de usarse. Un pequeño estudio mostrará rápidamente cual de dos o más agregados convenientes es el de mejor gradación y el que, por ello, dará el mejor hormigón.

La consideración de estos factores puede permitir el uso de materiales locales con una economía de flete. Conviene también para asegurar la obtención de un

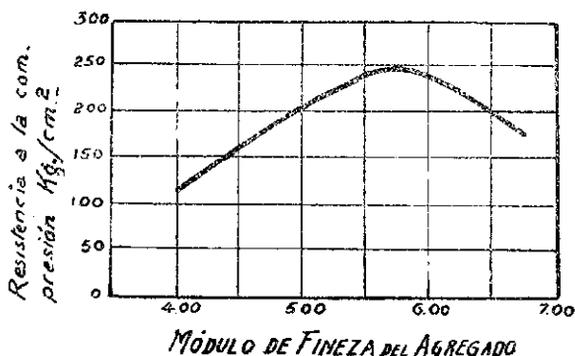


Fig. 5.—Relación entre la gradación del agregado y la resistencia del hormigón.

apropiada de agregados finos y gruesos puede duplicar la resistencia del hormigón, como lo muestra la fig. 5. Vale la pena duplicar la resistencia como resultado de unas pocas horas de estudio y a costa de una inspección un poco más detenida.

4.—LA GRADACIÓN DE LOS MATERIALES VARÍA

Cualquier número de agregados finos

hormigón de primera clase al menor costo. Tales estudios pueden ser hechos fácilmente por cualquier ingeniero o inspector competente y a muy pequeño costo.

Estableciendo una consistencia dada, la cual será siempre tan firme cuanto lo permita la naturaleza del trabajo y dada la mezcla (proporción del cemento al volumen total del agregado a mezclarse), la resistencia del hormigón resultante depende del tamaño y de la gradación del agregado. En general, cuanto mayor y más basto sea el agregado tanto más fuerte será el hormigón. La arena gruesa producirá un hormigón más resistente que la arena fina, lo mismo que las piedras o guijarros en los cuales predominen los mayores tamaños producirán hormigón más resistente que aquellas de menores dimensiones.

5.—EL MÓDULO DE FINEZA MUESTRA LA GRADACIÓN

Un simple número indicador, llamado «módulo de fineza», se ha desarrollado para indicar el tamaño y gradación de los agregados, y por este medio su valor para el uso en el hormigón. Puede aplicarse a agregados finos o gruesos, o a cualquier combinación de ellos. Muestra, al golpe de vista, cual de dos o más agregados tiene mejor gradación. De allí pueden ser fácilmente calculadas las proporciones en las cuales deben mezclarse agregados dados, finos y gruesos.

Para determinar el módulo de fineza de un agregado es necesario, solamente, hacer un simple análisis en la criba. Se usa un juego de cribas de malla cuadrada tipo (4.5 Standard square mesh); cada criba tiene un espacio libre doble de ancho al de la menor siguiente. Estos tamaños son: 40, 20, 12, 6.4, 3.2 y 1.6 mallas por centímetro lineal y mallas de

1 cm., 1,9 cm. y 3,8 cm. de lado. Para agregados mayores puede usarse también las cribas de malla de 7,5 cm. y 15 cm. de lado.

Se mide o por peso o por volumen el porcentaje del agregado más grueso que cada criba. La suma de estos porcentajes divididos por 100 se llama «módulo de fineza». Se puede obtener una aproximación bastante buena usando sólo cribas de tamaños alternados: 20, 6.4 y 1.6 y la de 1,9 cm. y estimando los porcentajes para las otras. Estas 4 cribas forman un juego conveniente para el uso en el campo.

La tabla 2 da los análisis de criba y los módulos de fineza de 10 agregados. El primero es arena, el segundo cascajo, los otros ocho agregados se han formado combinando estos materiales en proporciones diferentes. A medida que el porcentaje de cascajo aumenta, el agregado se hace más grueso y el módulo de fineza aumenta, representando así el tamaño y la gradación del agregado.

TABLA 2.—Análisis de Criba y Módulo de Fineza del agregado:

| Ref. N.º | Análisis de criba—porcentaje más grueso que cada criba | | | | | | | | | Módulo de Fineza | Resist. a la comp. Mezcla 1:4 Kg./cm.² |
|----------|--|-----|---------|---------|-----|-----|-------|---------|---------|------------------|--|
| | 40 | 20 | 12 | 6.4 | 3.2 | 1.6 | 1 cm. | 1,9 cm. | 3,8 cm. | | |
| 1 | 99 | 93 | 63 | 40 | 20 | 0 | Aren. | — | — | 3,15 | — |
| 2 | — | — | cascajo | cascajo | — | 100 | 75 | 25 | 0 | 7,00 | — |
| 3 | 99 | 93 | 68 | 55 | 39 | 23 | 17 | 6 | 0 | 4,00 | 115 |
| 4 | 99 | 95 | 79 | 70 | 59 | 49 | 37 | 12 | 0 | 5,00 | 205 |
| 5 | 100 | 95 | 84 | 77 | 70 | 62 | 46 | 16 | 0 | 5,50 | 237 |
| 6 | 100 | 97 | 86 | 79 | 73 | 68 | 51 | 21 | 0 | 5,75 | 249 |
| 7 | 100 | 98 | 90 | 85 | 79 | 74 | 56 | 18 | 0 | 6,00 | 238 |
| 8 | 100 | 98 | 91 | 89 | 85 | 81 | 61 | 20 | 0 | 6,25 | 221 |
| 9 | 100 | 99 | 94 | 93 | 90 | 87 | 65 | 22 | 0 | 6,50 | 196 |
| 10 | 100 | 100 | 98 | 96 | 94 | 93 | 70 | 24 | 0 | 6,75 | 179 |

6.—LA BUENA GRADACIÓN DUPLICA LA RESISTENCIA

La última columna muestra la resistencia a la compresión del hormigón hecho de aquellos ocho agregados, en la proporción de un volumen de cemento a cuatro volúmenes de agregado total. Esas resistencias han sido colocadas en forma de gráfico en fig. 5. Nótese que, hasta un cierto punto, el hormigón aumenta de resistencia a medida que el agregado es más grande. Más allá de ese punto el agregado es demasiado grande para la cantidad de cemento usada y la resistencia del hormigón disminuye. Nótese también que una gradación apropiada del agregado puede duplicar la resistencia del hormigón. Para otras mezclas el mismo principio es válido, pero la mayor resistencia se obtendrá con una gradación diferente. Cuanto más rica la mezcla, más grueso debe ser el agregado y más alto el módulo de fineza para obtener el hormigón de mayor resistencia.

El agregado N.º 3, con un módulo de fineza de 4,00, corresponde a un banco de grava; contiene material demasiado fino. El agregado N.º 10, con un módulo de fineza de 6,75, corresponde en gradación a una piedra rota; contiene demasiado material grueso. Esto muestra el error que se comete al usar material de un banco de grava, tal como está, o piedra rota, tal como sale de la trituradora. Esos materiales deben ser zarandeados y recombinados en las proporciones apropiadas.

7.—EL MÓDULO DE FINEZA ES SIMPLE

El módulo de fineza de cualquier mezcla de dos o más agregados, finos y gruesos es, simplemente, la media de los módulos de fineza de cada uno de los materiales separadamente. Por ejemplo,

si se mezcla 32% de la arena N.º 1 (M. F. = 3,15) con el 68% del cascajo N.º 2 (M. F. = 7,00) el módulo de fineza de la mezcla es:

$$M. F. = \frac{32 \times 3,15 + 68 \times 7,00}{100} = 5,77$$

Esto concuerda bien con el valor dado en la tabla (5,75) para el agregado N.º 6, cuyo M. F. se encontró por medio del análisis de criba.

Los análisis de criba, que se hacen muy fácilmente, darán el módulo de fineza de cualquier material fino y grueso, en tanto que un cálculo sencillo dará el módulo de fineza de cualquier mezcla entre ellos.

Si se conoce el M. F. apropiado para el trabajo de que se trata (véase más adelante), pueden calcularse las proporciones según las cuales deben combinarse materiales dados finos y gruesos para asegurar dicho M. F.

Los análisis de criba de los materiales pueden variar ampliamente, pero siempre que la suma de los porcentajes de más grueso que cada criba (módulo de fineza) sean los mismos, debe esperarse que el hormigón formado por ellos dé resultados uniformes. Esta relación se muestra en la Tabla 3, que da los análisis de criba, módulos de fineza y resistencia del hormigón de 10 agregados, hechos por gradación artificial con la misma arena y cascajo.

Aun cuando los análisis de criba varían, el total o módulo de fineza es el mismo en todos los casos. Nótese que los 10 agregados forman hormigón de resistencia prácticamente igual, la variación media, a partir del promedio, es sólo de 6,2%.

Así, el módulo de fineza, que es índice de tamaño y gradación, indica el valor de un agregado para su uso en hormi-

gón. La razón es que, eliminando variaciones en la absorción de los agregados, el módulo de fineza refleja la cantidad de agua en el mezclado necesaria para obtener una consistencia dada. En general, consistencia y mezcla siendo la misma, el módulo de fineza indica la re-

sistencia que puede esperarse del hormigón. Si las demás condiciones permanecen las mismas, los agregados que tengan el mismo módulo de fineza producirán hormigón prácticamente de la misma resistencia.

TABLA 3.—Resistencia del Hormigón formado con agregados del mismo módulo de fineza

Mezcla: 1:4 por volumen. Consistencia relativa 1,10. Edad en la prueba 28 días. Las probetas (cilindros de 15 cm. X 30 cm.) fueron almacenados en arena húmeda y ensayados húmedos.

| Ref. N.º | Análisis de criba—porcentaje más grueso que cada criba | | | | | | | | | Módulo de Fineza | Resist. a la comp. Kg./cm.² |
|-----------------------------------|--|-----|-----|-----|-----|-----|-------|---------|---------|------------------|-----------------------------|
| | 40 | 20 | 12 | 6,4 | 3,2 | 1,6 | 1 cm. | 1,9 cm. | 3,8 cm. | | |
| 11 | 95 | 89 | 82 | 75 | 67 | 67 | 67 | 62 | 0 | 6,04 | 195 |
| 12 | 98 | 95 | 90 | 83 | 83 | 83 | 50 | 22 | 0 | 6,04 | 178 |
| 13 | 98 | 94 | 90 | 86 | 83 | 80 | 55 | 18 | 0 | 6,04 | 182 |
| 14 | 96 | 90 | 80 | 80 | 80 | 80 | 60 | 38 | 0 | 6,04 | 181 |
| 15 | 90 | 85 | 81 | 78 | 75 | 73 | 66 | 56 | 0 | 6,04 | 181 |
| 16 | 100 | 93 | 82 | 73 | 73 | 73 | 63 | 47 | 0 | 6,04 | 202 |
| 17 | 100 | 100 | 100 | 92 | 81 | 60 | 45 | 26 | 0 | 6,04 | 206 |
| 18 | 100 | 99 | 96 | 91 | 80 | 50 | 50 | 50 | 0 | 6,04 | 214 |
| 19 | 99 | 98 | 90 | 85 | 80 | 76 | 38 | 38 | 0 | 6,04 | 213 |
| 20 | 99 | 98 | 91 | 85 | 80 | 76 | 67 | 8 | 0 | 6,04 | 189 |
| Promedio..... | | | | | | | | | | | 194 |
| Valor máximo..... | | | | | | | | | | | 214 |
| Valor mínimo..... | | | | | | | | | | | 178 |
| Variación media del promedio..... | | | | | | | | | | | 6,2 % |

8.—LA PROPORCIÓN DEPENDE DE LOS AGREGADOS

Aplicando este principio a la construcción actual, él significa que, si varios agregados, finos y gruesos son útiles, podrá hacerse de alguna combinación de material fino y grueso un hormigón prácticamente de la misma resistencia, con

tal que se proporcionen los materiales de manera que ellos tengan el mismo módulo de fineza. Para un conjunto de estos materiales las proporciones agregadas pueden ser 1:2,3:2,7, para otro 1:1,6:3,4, y así sucesivamente. «Aplicar una proporción arbitraria, tal como 1:2:3 a todos los agregados, sin tener en cuenta su gradación, no dará resultados unifor-

mes ni satisfactorios». La mezcla debe determinarse después de un estudio del agregado particular que ha de usarse. Si la gradación del agregado cambia durante la marcha del trabajo, es una cuestión sencilla cambiar la mezcla de acuerdo

que con mezclas pobres. Por ello los mejores valores del módulo de fineza dependerán a la vez de la mezcla y del máximo tamaño del agregado. La Tabla 4 indica el mejor valor del módulo de fineza para las mezclas usuales y diferentes tamaños de los agregados. Cuanto más exactamente

el tamaño del agregado concuerda con estos valores, más resistente será el hormigón.

Estos valores del módulo de fineza se basan en agregados de arena y cascajo para hormigón armado común. Si se usara como agregado grueso piedra rota, escorias o cascajos chatos, o producto de zaranda de piedra con agregado fino, hay

que reducir los valores en 0,25. Para hormigón en masa los valores pueden aumentarse en 0,10 para agregados de 1,9 cm., 0,20 para agregados de 3,8 cm. y 0,30 para agregados 7,5 cm. Los agregados finos usados en el hormigón no deben tener un módulo de fineza mayor que el establecido para los morteros de la misma mezcla.

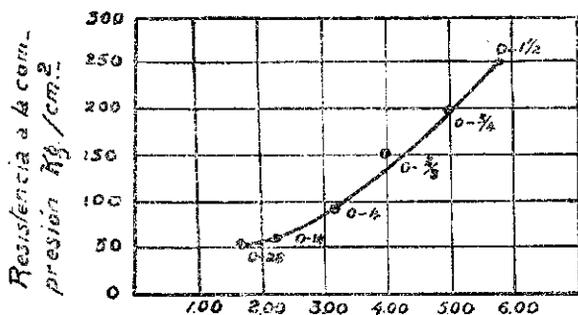


Fig. 6.—Relación entre el tamaño máximo del agregado, módulo de fineza y resistencia del hormigón.

Es obvio que los agregados que tengan un tamaño máximo mayor tendrán un mayor módulo de fineza. Esto se muestra en la fig. 6. Nótese que a medida que el tamaño máximo aumenta, el módulo de fineza aumenta, y también aumenta la resistencia del hormigón.

Como ya se dijo, con mezclas ricas pueden usarse mayores módulos de fineza

TABLA 4.—Mejores valores del módulo de fineza

| Mezcla cemento-agregado | Tamaño de los agregados | | | | | | |
|-------------------------|-------------------------|---------|-----------|-------------|-----------|---------|-----------|
| | 0-1,6 cm. | 0-1 cm. | 0-1,9 cm. | 0-1-2,5 cm. | 0-3,8 cm. | 0-5 cm. | 0-7,5 cm. |
| 1 : 7 | 3,20 | 3,95 | 4,75 | 5,15 | 5,55 | 5,95 | 6,40 |
| 1 : 6 | 3,30 | 4,05 | 4,85 | 5,25 | 5,65 | 6,05 | 6,50 |
| 1 : 5 | 3,45 | 4,20 | 5,00 | 5,40 | 5,80 | 6,20 | 6,60 |
| 1 : 4 | 3,60 | 4,40 | 5,20 | 5,60 | 6,00 | 6,40 | 6,85 |
| 1 : 3 | 3,90 | 4,70 | 5,50 | 5,90 | 6,30 | 6,70 | 7,15 |
| 1 : 2 | 4,20 | 5,05 | 5,90 | 6,30 | 6,70 | 7,10 | 7,55 |
| 1 : 1 | 4,75 | 5,60 | 6,50 | 6,90 | 7,35 | 7,75 | 8,20 |

9. CONTRACCIÓN DE LOS AGREGADOS
DESPUÉS DEL MEZCLADO

La Tabla 4 da la verdadera mezcla, es decir, la proporción entre el volumen de cemento (expresado como unidad) y el volumen de agregado total después de haber combinado el fino y el grueso. En la mezcla nominal, usada ordinariamente, los volúmenes de agregados fino y grueso se dan separadamente, así: 1:2,4 o 1:1 1/2:3. La mezcla nominal puede convertirse fácilmente en la verdadera mezcla. Vice-versa, si se conoce la relación entre el agregado fino y el grueso, la mezcla verdadera puede convertirse rápidamente en mezcla nominal. Para las relaciones usuales de agregado fino y grueso (el agregado fino es un 20% a un 70% del total) el volumen del agregado total, después de mezclado será unos 7/8 de la suma de los volúmenes del agregado fino y del grueso, medidos separadamente. Por ejemplo, el agregado N.º 6 en la TABLA 2, contiene 32% de arena. Cuatro decímetros cúbicos del agregado total requerirán 4,57 (4×8/7) decímetros cúbicos de agregado fino y grueso medidos separadamente. De esos 4,57 decímetros cúbicos, 32% o

sean 1,46 decímetros cúbicos serán de arena y 68%, o sean 3,11 decímetros cúbicos serán de cascajo. Una mezcla verdadera de 1:4 se obtendrá usando una mezcla nominal de 1:1,46:3,11. A causa de esta contracción producida cuando se combina agregado fino y grueso, una mezcla nominal de 1:2:4 no corresponde a una mezcla verdadera de 1:6, como a veces se ha dicho, sino que corresponde a una mezcla verdadera de 1:5,2.

Pueden obtenerse valores más exactos para la contracción de los materiales mezclados, midiendo el volumen del material mezclado obtenido mezclando agregados finos y gruesos en las proporciones apropiadas, o calculando por medio de los pesos de la unidad de volumen de los agregados: fino, grueso y mezclado. Sin embargo, en la mayoría de los casos es suficiente adoptar la contracción media de 1/8.

EJEMPLO 1

Cuatro agregados finos y cuatro gruesos son utilizables en una cierta obra, ¿cuál debe usarse? Los análisis de criba dan los siguientes datos:

| Agregado | Porcentaje más grueso que cada criba | | | | | | | | | Módulo de finura | Clasificado por tamaño |
|--------------------------|--------------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-------|---------|---------|------------------|------------------------|
| | 40 | 20 | 12 | 6,4 | 3,2 | 1,6 | 1 cm. | 1,9 cm. | 3,8 cm. | | |
| Arena N.º 1 | 100 | 90 | 70 | 55 | 35 | 20 | 0 | 0 | 0 | 3,70 | 0—1,0 cm. |
| » » 2 | 100 | 85 | 65 | 40 | 20 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,10 | 0—1,6 cm. |
| » » 3 | 95 | 75 | 60 | 30 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2,60 | 0—3,2 cm. |
| Residuo de zaranda N.º 4 | 85 | 80 | 75 | 35 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3,00 | 0—1,6 cm. |
| Piedra N.º 5 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 40 | 0 | 7,40 | 1 cm.—3,8 cm. |
| Cascajo » 6 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 70 | 30 | 0 | 7,00 | 1,6 cm.—3,8 cm. |
| » » 7 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 45 | 15 | 0 | 6,60 | 1,6 cm.—3,8 cm. |

En razón de su mejor tamaño y gradación (mayor módulo de fineza) la arena N.º 1 y la piedra N.º 5 son los mejores materiales; la arena N.º 2 y los cascajos N.º 6 son buenos materiales, pero la arena N.º 3 es demasiado fina y los cascajos N.º 7 son más bien pequeños. Los residuos de zaranda N.º 4 son de buena gradación, pero es preferible usar una arena de gradación igualmente buena a causa de que las partículas redondeadas se colocan en su lugar con menos agua de mezclado. Esa es la razón por la cual se puede adoptar un mayor módulo de fineza cuando se usa la arena que cuando se usan residuos de zaranda (véase el texto precedente a la TABLA 4). Por ello los otros materiales serán mejores. Sin embargo, cualquiera de estos materiales hará un buen hormigón, con tal que los materiales finos y gruesos sean proporcionados de modo de asegurar un módulo de fineza combinado, conveniente a la mezcla y al máximo tamaño del agregado.

EJEMPLO 2

Se ha adoptado una mezcla verdadera de 1:4 y un tamaño máximo del agregado de 3,8 cm. En razón de que el costo es menor que el de los demás materiales se ha adoptado la arena N.º 2 y el cascajo N.º 6. ¿En qué proporciones deben combinarse para conseguir los mejores resultados? O, en otras palabras, ¿Qué mezcla nominal ha de usarse?

Para estas condiciones, el valor apropiado del módulo de fineza es de 6,00 para el agregado total. Sea P el porcentaje de arena y 100-P el de cascajo.

$$\begin{aligned} P \times 3.10 + (1.00 - P) \times 7.00 &= 6.00 \\ 3.10 P + 7.00 - 7.00 P &= 6.00 \\ 3.9 P &= 1.00 \\ P &= 0.26 \text{ o } 26\% \end{aligned}$$

Así, del volumen total del agregado, 26 % será arena y 74 % cascajo. La mezcla verdadera es 1:4; la suma de los volúmenes de arena y cascajos correspondientes a 1 dm³. de cemento, medidos separadamente, será de $4 \times \frac{8^3}{7} = 4,57$ dm³. De esto 26 %, o sea 1,19 dm³, será de arena y 74 %, es decir, 3,38 dm³, será de cascajo. La mezcla nominal será entonces: 1:1,2:3,4.

EJEMPLO 3

Durante la marcha del trabajo, es necesario sustituir los agregados anteriores y usar los residuos de zaranda N.º 4 y la piedra N.º 5. ¿Qué cambio debe hacerse en la mezcla nominal?

Cuando se usan los residuos como agregado fino, o cuando se usa la piedra como agregado grueso, los valores para los módulos de fineza del total, dados en la TABLA 4, deben reducirse en 0,25. En este caso, como han de usarse ambos agregados, debe reducirse de 0,50 y el valor 6,00 del M. F. usado en el Ejemplo 2, será aquí de 5,50. Usando la misma notación de antes:

$$\begin{aligned} P \times 3.00 + (1.00 - P) \times 7.40 &= 5.50 \\ 3.0 P + 7.4 - 7.4 P &= 5.50 \\ 4.4 P &= 1.9 \\ P &= 0.43 = 43\% \end{aligned}$$

Dividiendo el volumen total del agregado, antes del mezclado (4,57 dm³) en 43 % de agregado fino y 57 % de agregado grueso, las nuevas proporciones serán 1:2:2,6.

10.—SUMARIO

El tamaño y la gradación del agregado son factores importantes en la resistencia del hormigón, porque ellos afectan la cantidad de agua en el mezclado neces-

ria para alcanzar una consistencia determinada. El módulo de fineza es un número indicador que muestra el tamaño y la gradación. Por ello él indica la cantidad de agua en el mezclado que será necesario usar e indica la resistencia que puede esperarse del hormigón hecho en tales condiciones.

El M. F. puede ser calculado fácilmente de un simple análisis de criba. El M. F. de cualquier combinación de agregados finos y gruesos es el promedio, teniendo en cuenta porcentajes, de los módulos de fineza de cada uno de los agregados. El estudio de los módulos de fineza mostrará en qué proporción han de ser mezclados los agregados para obtener los mayores resultados. Una proporción apropiada de los agregados fino y grueso puede hasta duplicar la resistencia del hormigón.

11.- ENSAYOS COLORIMÉTRICOS DE LAS ARENAS

Las características importantes de la arena para su uso en hormigón son: durabilidad, limpieza y gradación. En lo que sigue trataremos únicamente de la limpieza. La experiencia en la construcción con hormigón y ensayos numerosos han mostrado que la apariencia de una arena no es un criterio seguro para determinar la conveniencia para su uso en el hormigón. Por ejemplo, una arena que aparece sucia puede estar enteramente libre de sustancias orgánicas y dar excelente resultado, con tal que las características de durabilidad y gradación sean satisfactorias. Por otra parte, muchas arenas que parecen limpias tienen sus granos recubiertos por una película de materias orgánicas de una naturaleza tal que producen un hormigón inferior.

Se han hecho numerosos ensayos para determinar si una arena llena o no los

requisitos de limpieza exigidos para su uso en hormigón. La más común de las experiencias que se lleva a cabo con este objeto es la determinación de la tierra y la pérdida de peso resultante de llevar la arena por calentamiento al color rojo (ensayo de ignición). El ensayo que da la tierra da, en realidad, la cantidad de material fino, generalmente arcilla o margas, que contiene la arena, pero no provee datos sobre el efecto probable que ejercerán tales materiales sobre la resistencia y durabilidad del hormigón o mortero hecho con la arena en cuestión. El trabajo experimental llevado a cabo en el Laboratorio de Investigación de Materiales de Construcción del Lewis Institute por los profesores Duff A. Abrams y el químico doctor Oscar E. Harder, han demostrado que la causa de los efectos perniciosos observados al usar arenas de esta clase, es la presencia de impurezas orgánicas de naturaleza humífera. Este humus en general proviene de la cubierta de los bancos de arena, en donde se hacen los pozos para extraerla; puede también deslirse entre la arena siguiendo cualquier camino. Muchos autores han señalado el hecho de que, el efecto pernicioso de la tierra en el hormigón no es proporcional a la cantidad de tierra que contiene la arena. La explicación de este resultado está en el hecho de que solamente las impurezas de naturaleza orgánica son perjudiciales al hormigón, al retardar o impedir la colocación y fragüe del cemento, en consecuencia, puede haber una notable proporción de arcilla sin que produzca otro efecto que una reducción en la resistencia, la cual podría proveerse debido al cambio en la gradación del agregado.

Las investigaciones llevadas a cabo en el S. M. R. Laboratory, con la cooperación del Committee C-9 de la A. S. T. M. han mostrado que un simple en-

sayo colorimétrico es suficiente para acusar la presencia de materias orgánicas de origen humífero en las arenas. (Es raro encontrar en las arenas otras impurezas orgánicas que no sean provenientes del humus).

Se han desarrollado dos métodos de ensayo de impurezas orgánicas:

1.º Ensayo aproximado para usar en el terreno.

2.º Método más exacto para usar en el laboratorio.

El método de laboratorio difiere del método usado en el campo, principalmente en que la comparación se hace con un color tipo definido. Aquí sólo se tratará del ensayo del campo.

12.—MÉTODO DE ENSAYO DE CAMPO

El ensayo de campo consiste en sacudir la arena cuidadosamente en una solución diluída de hidrato de sodio (Na O. H.) y observar el color resultante, después de dejar la mezcla en reposo durante unas pocas horas. Llénese una botella graduada de 12 onzas (340 gramos) hasta la marca de las $4\frac{1}{2}$ onzas (128 gramos) con la arena a ensayarse. Agréguese una solución al 3% de hidrato de sodio, hasta que el volumen de la arena y la solución, después de sacudir, alcance a la gradación de 7 onzas (198 gramos). Sacúdase perfectamente y déjese reposar durante 24 horas. Obsérvese el color del líquido que se halla encima de la arena. Una buena idea de la calidad de la arena puede formarse antes de las 24 horas, aun cuando se admite que este período es el que da mejores resultados.

Si la solución, después de este tratamiento, es incolora o tiene un ligero color amarillento (Fig. 7-1) la arena puede considerarse satisfactoria en lo que se refiere a materias orgánicas. Si la solu-

ción adquiere un color oscuro, más profundo que el indicado en la Fig. 7-2, la arena no se usará en hormigón de primera clase, tal como se necesita para pavimentos o construcción de edificios. Las arenas que produzcan un color tan oscuro como el de Fig. 7-3, pueden usarse para hormigón en obras sin importancia. Las arenas que den un color más oscuro que el de Fig. 7-3, no deben usarse nunca en hormigón. La Fig. 7-5 representa el color de la solución obtenida con una arena extraordinariamente sucia o de una muestra de tierra rica en humus. Una pequeña cantidad de material de esta clase inutilizará a la arena para ser usada en hormigón.

13.—VALORES DE LOS COLORES

Aun cuando no es posible dar valores exactos para la reducción de la resistencia correspondiente a los diferentes colores de la solución, los ensayos permiten dar las siguientes aproximaciones:

El lavado de las arenas sucias reduce grandemente la cantidad de impurezas orgánicas. Sin embargo, aún después del lavado las arenas deben ser examinadas para determinar si las impurezas orgánicas se han reducido a proporciones inofensivas.

14.—APARATOS

La siguiente lista incluye los elementos suficientes para hacer 5 ensayos simultáneos, de campo:

5 frascos graduados de 12 onzas, una cierta cantidad de solución de hidrato de sodio al 3% (se disuelve 30 gramos de hidrato de sodio (Na. O. H.) en un litro de agua).

Este material puede adquirirse en cualquier droguería por 4 o 5 pesos.

15.—CONCLUSIONES

La experiencia y los ensayos llevados a cabo muestran que la mayor parte de los defectos de las arenas provienen de la presencia de impurezas orgánicas de naturaleza humífera. El ensayo colorimétrico provee un método sencillo y barato para la determinación de esas impurezas.

En ensayo hecho de la manera descrita más arriba, será conveniente para:

1. Especificaciones para la provisión de arena.

2. Comprobación de la limpieza de la arena recibida en la obra.

9. Examen preliminar de las arenas en el laboratorio.

Esta experiencia es usada por un gran número de laboratorios de ensayos, ingenieros y contratistas al tratar la utilización de arenas para hormigón. En ciertos casos este ensayo constituyó la base de la especificación para la adquisición de arena.

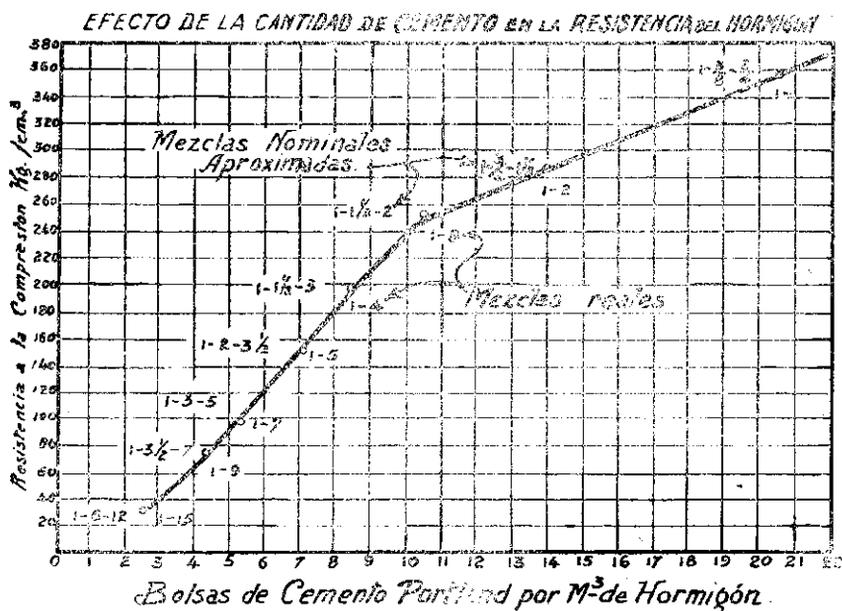


Fig. 8.—Diagrama que muestra el efecto de la cantidad de cemento en la resistencia del hormigón.

16.—LAS MEZCLAS RICAS PRODUCEN UN HORMIGÓN MÁS RESISTENTE

El agregado es inerte. El hormigón fragua—se endurece—a causa de las reacciones químicas entre el cemento y el agua. La cantidad de agua en el mezclado y la cantidad de cemento, afectan, ambas, la resistencia. El factor de control en la resistencia del hormigón es la

relación entre el volumen del agua en el mezclado y el volumen de cemento. Siempre que el hormigón sea manejable, cuanto menor sea la relación *agua:cemento*, tanto más resistente será el hormigón. Esta relación puede reducirse de tres maneras:

1. Reduciendo la cantidad de agua en el mezclado.

2. Mejorando la gradación del agregado.

3. Usando más cemento, es decir, mezcla más rica.

Es obvio, entonces, que la cantidad de agua en el mezclado debe ser tan pequeña cuanto lo permita la consistencia requerida para la obra de que se trata. «Cuanto menos agua en el mezclado tanto más resistente el hormigón» es una verdad que se mantiene para todos los tipos de consistencia que se usan en la construcción. Cuando la mezcla es demasiado seca para ser manejable, mayores reducciones en la cantidad de agua disminuyen la resistencia del hormigón. Para aumentar todavía más la resistencia, o en otras palabras, para reducir la relación agua-cemento, y mantener todavía una mezcla manejable, es necesario usar más cemento.

Los agregados de mejor gradación reducen la cantidad de agua de mezclado necesaria para obtener una consistencia dada. Las partículas más grandes y de tamaños más escalonados, encuentran el camino hasta su lugar más fácilmente y requieren menos agua durante el mezclado. En general, la arena gruesa y cascajos grandes necesitan menos agua que arena fina y cascajos chicos. Mientras el agregado no sea demasiado grande para la mezcla (proporción de cemento al agregado total) cuanto mayor sea el agregado, más pequeña será la cantidad de agua necesaria en el mezclado para alcanzar una consistencia dada. Por ello será menor la relación agua-cemento y más fuerte el hormigón.

Adoptando una consistencia dada, la que será tan firme como lo permita la naturaleza del trabajo, y un agregado de buena gradación, la resistencia del hormigón resultante dependerá de la cantidad de cemento usado en la mezcla. Un aumento en la cantidad de cemento reduce la relación: agua-cemento, porque una mezcla más rica alcanza la consis-

tencia adoptada con menos agua en el mezclado por bolsa de cemento que una mezcla pobre. Si no se usa menos agua por bolsa de cemento con la mezcla más rica, se pierde el valor del cemento adicional.

17.—AUMENTO DE RESISTENCIA DE LAS MEZCLAS RICAS

Las experiencias muestran claramente el aumento de resistencia que resulta del empleo de mezclas más ricas. Los resultados típicos se dan en la Tabla 5. En todos los ensayos se usó el mismo agregado, con un módulo de fineza de 5,75 y gradación hasta 3,8 cm. El cemento usado para las experiencias fué una mezcla, a partes iguales, de 4 marcas adquiridas en la plaza de Chicago. La consistencia relativa de todas las probetas fué la misma, 1,10, con un asentamiento de 7,5 a 10 cm. Esta consistencia es la conveniente para la mayoría de los trabajos de construcción. Todos los ensayos se hicieron a la edad de 28 días. Así, el aumento de la resistencia se debió solamente al aumento de la cantidad de cemento.

| (1) Mezcla real | Mezcla nominal aproximada | Bolsas de cemento por metro cúbico de hormigón | Resist. a la compresión Ψ libras |
|-----------------|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Cement. puro | — | 38.8 (2) | 467 |
| 1:1/3 | — | 30.1 | 402 |
| 1:1 | 1:3/8: 3/4 | 20.5 | 356 |
| 1:2 | 1:1/4:1 1/2 | 13.7 | 286 |
| 1:3 | 1:1 1/2:2 | 10.3 | 251 |
| 1:4 | 1:1 1/2:3 | 8.2 | 194 |
| 1:5 | 1:2:3 1/2 | 6.8 | 147 |
| 1:7 | 1:3:5 | 5.1 | 98 |
| 1:9 | 1:3 1/2:7 | 4.1 | 72 |
| 1:15 | 1:6:12 | 2.4 | 31 |

(1) La mezcla real es la relación entre el volumen de cemento, expresado como unidad, y

Con estos datos se ha formado el diagrama de la Fig. 8. Otras consistencias, gradaciones y edades dan curvas diferentes, pero todas son de la misma forma general y señalan para las mezclas ricas aumentos análogos en la resistencia. En razón de la escala adoptada en la Fig. 8 no se han colocado los valores correspondientes a cemento puro y a hormigón 1:1/3 pues el gráfico adquiriría un ancho doble.

Las mezclas ordinarias de hormigón (1:3 1/2:7 a 1:1 1/2:2) contienen de 4 a 10 bolsas de cemento por metro cúbico de hormigón. Nótese el aumento de la resistencia del hormigón, entre estos límites, en relación a la cantidad de cemento; cada bolsa adicional de cemento, por metro cúbico de hormigón, aumenta la resistencia en 29 kg/cm².

Aumentando el cemento en el hormi-

el volumen del agregado total después de haber combinado el fino y el grueso. En la mezcla nominal, que es la que se usa en general, los volúmenes del agregado fino y grueso se expresan separadamente. La mezcla nominal puede convertirse fácilmente en mezcla real, porque, para las proporciones usuales de agregado fino y grueso (agregado fino de 20 % a 70 % del total) el volumen del agregado combinado, después de mezclarlo, es alrededor de siete octavos de la suma de los volúmenes de agregados fino y grueso, medidos separadamente. A causa de esta disminución de volumen, una mezcla nominal 1:3:5 no da una mezcla verdadera 1:8, como a veces se acepta, sino una mezcla de 1:7, aproximadamente.

(2) El volumen de hormigón obtenido de cemento puro, depende de la cantidad de agua que se use en el mezclado. Para relaciones de agua: cemento comprendido entre 0.3 y 0.6, el volumen de hormigón obtenido de 1 metro cúbico de cemento seco es igual a medio metro cúbico más la cantidad de agua usada. En el ejemplo dado aquí, la relación agua: cemento fué de 0.4 y la disminución de volumen fué en consecuencia de un 10 %.

Nótese que las bolsas a que se hace referencia en este folleto son las tipo americano de 1 pie cúbico.

gón de 3 a 6 bolsas por metro cúbico, la resistencia aumenta de 45 kg/cm² a 124 kg/cm², o sea el 175%. Aumentando de 4 a 8 bolsas, la resistencia aumenta desde 70 kg/cm² hasta 187 kg/cm², o sea 167 %. Aumentando de 6 a 12 bolsas se pasa de 124 hasta 268 kg/cm², o sea, se aumentan 144 Kg/cm², vale decir, que se aumenta la resistencia en 116 %.

En otras palabras, doblando la cantidad de cemento se aumenta más del doble la resistencia del hormigón.

Con mezclas más ricas el aumento no es tan rápido, pero es todavía directamente proporcional a la cantidad de cemento. En hormigones que tengan más de 10 bolsas por metro cúbico de hormigón, cada bolsa de más aumenta en 10 kg/cm², la resistencia del hormigón.

18.—MAYOR IMPERMEABILIDAD

Otro aspecto a considerar: Cuanto más rica la mezcla tanto más impermeable el hormigón. Un hormigón poroso puede ser afectado por la helada, puede permitir goteras o que la humedad alcance al acero del refuerzo y cause su corrosión, con las consiguientes averías. Un hormigón impermeable, cuidadosamente colocado, estará libre de estos inconvenientes.

19.—PEQUEÑO COSTO EXTRA

Aumentando la cantidad de cemento no se cambia el costo de los encofrados, ni el trabajo de mezclado y colocación del hormigón, ni los gastos de dirección. Se reduce ligeramente la cantidad de los agregados. El único costo extra es el cemento adicional; comparado al costo total esto es muy pequeño. El obtener más del doble de la resistencia a la compresión y al desgaste y una mayor durabilidad por un costo aumentado del 10%

al 20 %, es, seguramente, una buena inversión del dinero.

En hormigón estructural, el aumento de la resistencia puede permitir el uso de mayores tensiones con la reducción consiguiente en la sección y por ello con un costo total menor. En pisos, plataformas y pavimentos una mayor resistencia a la compresión y al desgaste significa mayor valor y mejor servicio. Hasta en hormigón en masas, donde se requiere la masa y el peso más que la resistencia, es deseable el empleo de un hormigón rico en razón de su resistencia a la helada y a otros agentes destructores.

Recuérdese que con las mezclas comunes cada bolsa adicional de cemento por metro cúbico de hormigón agrega 30 kg/cm² a la resistencia del hormigón.

20.—LAS MEZCLAS BIEN HECHAS AUMENTAN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

Dos baldes por minuto, de la hormigonera, representan una gran producción, pero sacrifica gran parte de la resistencia del hormigón. Dos baldes por minuto significan, generalmente, un tiempo neto de mezcla de unos 15 segundos. Esto no es suficiente para realizar una buena mezcla y el resultado es que el hormigón no desarrollará sino una parte de la resistencia potencial que correspondería a la mezcla. Además, el hormigón que no se ha mezclado cuidadosamente no es de calidad uniforme, contendrá vacíos entre las piedras, que serán puntos débiles y darán origen a filtraciones o goteras inadmisibles.

La experiencia muestran que la duración del mezclado afecta materialmente la resistencia del hormigón. En la Fig. 9 se muestran valores típicos de estas experiencias. Nótese el rápido aumento de la resistencia durante los primeros minutos. Nótese también que el hormigón mezclado durante dos minutos es de 20 a 35 % más fuerte que el hormigón mezclado sólo durante 15 segundos y que mezclado durante dos minutos se agrega de 35 a 50 kg/cm² a la resistencia del hormigón en todas las edades.

Estas experiencias muestran también que las mezclas bien hechas hacen un hormigón mucho más uniforme. Las probetas hechas de hormigón mezclado durante 15 segundos mostraron una variación media del 30 % en resistencia, en tanto que las probetas hechas de hormigón mezclado durante dos minutos variaron menos del 10 %. Además, un mezclado bien hecho aumenta la plasticidad. Esto significa una mezcla más manejable y exige menos trabajo para su colocación.

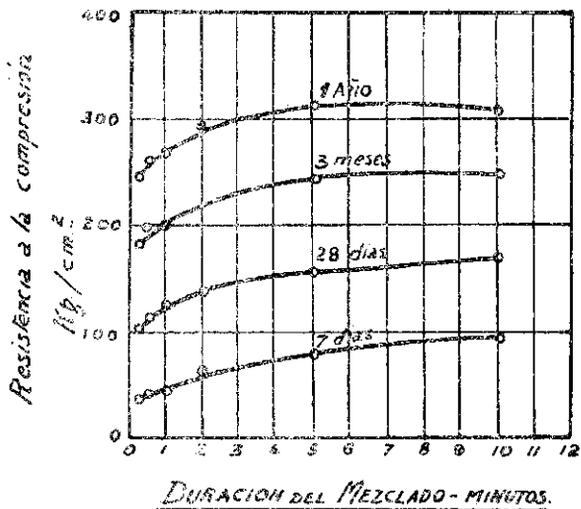


Fig. 9.—Relación entre la duración del mezclado y la resistencia a la compresión del hormigón.

Como se ve en la Fig. 10 los cambios en la velocidad de la hormigonera entre 12 y 25 revoluciones por minuto (R. P. M.) tienen un efecto pequeño en la resistencia del hormigón. Es la duración del mezclado y no la velocidad del mezclado la que asegura resistencia y calidad. La resistencia al desgaste, tan importante en pisos y pavimentos, aumenta con la resistencia a la compresión. Los aumen-

migonera, es absolutamente posible y debe exigirse.

Cuando se hace trabajar a una hormigonera a gran velocidad, se asegura temporariamente una rápida producción, sin embargo, esta avalancha de hormigón es seguida, generalmente, por un período durante el cual la hormigonera está sin hacer nada, a causa de fallas en la provisión de materiales, arreglos en los encofrados u otras razones.

En la inmensa mayoría de los casos se coloca igual cantidad de hormigón por día o por semana, haciendo funcionar la hormigonera de modo que produzca un buen mezclado, y se logra que el hormigón sea de buena calidad.

El «Progress Report of the Joint Committee on Standard Specifications for Concrete and Reinforced Concrete», en su edición de Junio de 1921 establece: «El mezclado de cada balde continuará al menos durante un minuto y medio después que to-

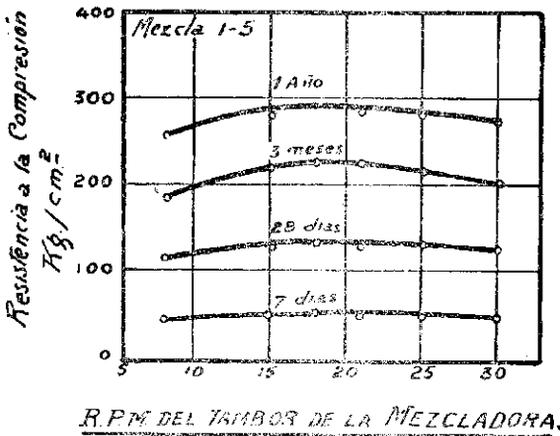


Fig. 10.—Relación entre la velocidad de la mezcladora y la resistencia a la compresión del hormigón.

tos de resistencia a la compresión y al desgaste, obtenidos por una mezcla cuidadosa son, indiscutiblemente, de tener en cuenta. Si es necesario obtener una mayor cantidad de hormigón, no debe aumentarse la velocidad de la mezcladora sino usar una mayor o conseguir una segunda mezcladora. Una duración de mezclado de cinco minutos dará aún mayor aumento de resistencia. Es claro que cinco minutos es un tiempo del que no se puede disponer para cada mezcla en la mayor parte de los trabajos de construcción, pero mezclar durante uno a dos minutos, después que todos los materiales, incluso el agua, están dentro de la hor-

dos los materiales estén en el tambor de la hormigonera.

La adopción general de esta regla mejoraría mucho la calidad y la resistencia del hormigón.

21.—UNA MADURACIÓN APROPIADA AUMENTA LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN

Debe hacerse un distinguido definido entre las exigencias del hormigón, en lo que respecta al agua, durante la operación del mezclado y durante la maduración. Una regla segura a seguir, es usar la menor cantidad de agua posible durante el mezclado, y tal que produzca

una mezcla suficientemente plástica para el trabajo de que se trata, y luego dar a la superficie del hormigón tanta cantidad de agua durante la maduración como sea posible, después de la colocación del hormigón.

El hormigón se endurece, fragua, en razón de las reacciones químicas entre el cemento portland y el agua. El límite inferior de la cantidad de agua a usarse en el hormigón está fijado por la plasticidad necesaria de la mezcla para el trabajo de construcción sobre ese límite, cuanto menor sea la cantidad de agua usada en el mezclado tanto más resistente será el hormigón.

Por ello la cantidad de agua de mezcla debe reducirse lo más posible. Sin embargo, una vez que el hormigón está colocado y ha llegado a endurecerse, las condiciones cambian, y debe proveérsele de la mayor cantidad de agua posible para la maduración.

Las reacciones químicas del fraguado del hormigón son lentas, y no pueden ser completas si no se producen en presencia de la humedad suficiente. El agua de mezclado necesaria para el endurecimiento apropiado de hormigón recientemente colocado es, a menudo, perdida por absorción o evaporación aún después que el hormigón ha comenzado a fraguar. Bajo tales condiciones el hormigón alcanza sólo una parte de su resistencia potencial. Por ello debe conservarse el contenido de agua del hormigón recientemente colocado. Guardando húmedo el

hormigón durante su primer período de endurecimiento, o en otras palabras, proveyendo bastante agua para su maduración, se impide la evaporación de la humedad necesaria y se permite al hormigón que fragüe en condiciones favorables.

22.—MIENTRAS EL HORMIGÓN FRAGÜE DEBE PROTEGERSE

Las experiencias muestran que la protección durante el primer período de endurecimiento, aumentan mucho más la resistencia del hormigón a la compresión y al desgaste. La Fig. 11 da un resumen

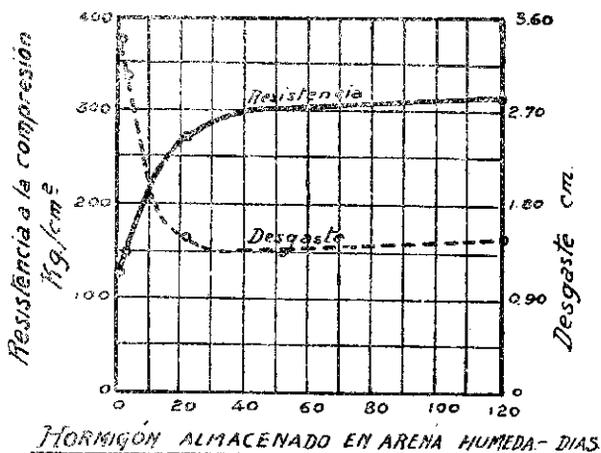


Fig. 11.—Manteniendo el hormigón húmedo durante los 10 primeros días, se agrega 75% a su resistencia a la compresión. Se reduce el desgaste en 40%, o dicho de otro modo, aumenta la resistencia al desgaste en 65%. Una protección de tres semanas aumenta todavía más la resistencia y la dureza.

de los resultados de estas experiencias. Todas las probetas fueron ensayadas a la misma edad, 4 meses. Un juego se dejó endurecer al aire durante los cuatro meses completos; el segundo fué almacenado en arena húmeda durante 3 días y en el aire durante los restantes 117 días; el tercero fué almacenado en arena húmeda durante 21 días y en el aire du-

rante 99 días, mientras que el cuarto fué mantenido en la arena húmeda durante los 120 días y fué ensayado todavía húmedo. De este modo el aumento en resistencia a la compresión y al desgaste fué debido solamente a las mejores condiciones de duración provistas.

Nótese que el hormigón mantenido en arena húmeda durante los primeros 10 días aumentó su resistencia a la compresión en 75 %, el de 3 semanas 115 % y el de 4 meses 145 %.

Nótese también que manteniendo húmedo el hormigón durante los primeros 10 días decrece el desgaste en 40 % y por tres semanas en 55 %. Manteniendo húmedo el hormigón durante 4 meses no se produce una mayor disminución del desgaste, pero debe tenerse en cuenta que las probetas fueron ensayadas en estado húmedo. Si se las hubiera dejado secar durante unos pocos días el desgaste hubiera sido menor, posiblemente.

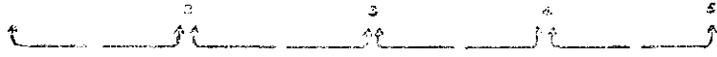
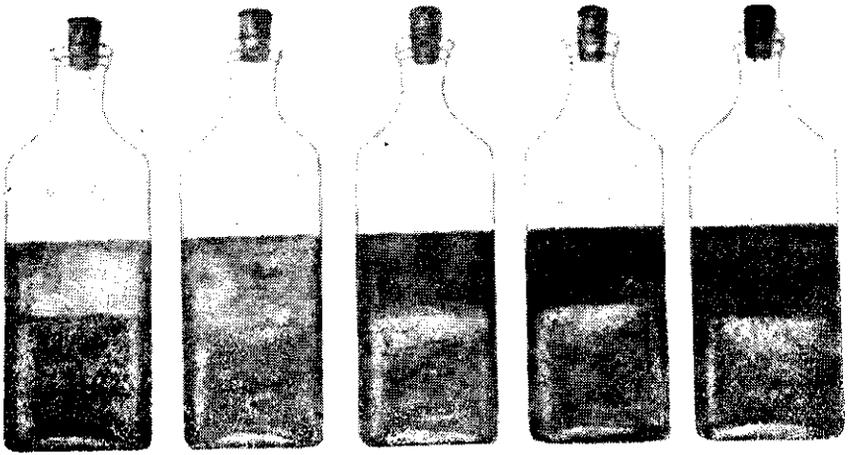
Invirtiéndolo la forma de estos resultados de las experiencias de desgaste, la protección durante 10 días aumenta la resistencia al desgaste del hormigón en 65 %, y si la protección es de 3 semanas el aumento será de 120 %. Así, una maduración apropiada aumenta la resistencia del hormigón al desgaste casi en la misma proporción que la resistencia a la compresión. Es casi innecesario decir que la resistencia al desgaste tiene la

mayor importancia cuando se trata de pisos, pavimentos y andenes.

23.—MÉTODO DE PROTECCIÓN

El hormigón recientemente colocado puede mantenerse húmedo de varios modos. Empapando con agua el piso y los encofrados antes de la colocación del hormigón a fin de reducir la absorción. Las superficies horizontales, tales como pisos y pavimentos, pueden cubrirse con arena húmeda el día siguiente a su colocación, cuando se han endurecido suficientemente para evitar que se produzcan pozos en la superficie y mantener húmeda la arena por medio de riegos frecuentes. A veces se construyen alrededor de la sección del piso pequeños diques de arcilla, los cuales se llenan de agua. Las superficies verticales pueden conservarse húmedas por medio de riegos frecuentes de los encofrados. A veces las paredes se cubren con telas que se mojan varias veces por día.

El hecho de mantener el hormigón constantemente húmedo durante los primeros 10 días le da un valor 65 % mayor. Si la protección se extiende hasta tres semanas, se obtiene mejor resultado aún; nada puede hacerse al hormigón que dé mejores resultados que el buen uso del agua en el mezclado y durante la maduración.



Arena conveniente para usar en hormigón de alta calidad.
 Arenas que pueden usarse en obras de hormigón sin importancia.
 Arenas que no deben usarse nunca para hormigón.
 Una arena extraordinariamente mala, humus o tierra de cultivo.

Fig. 7.—Colores de las arenas tratadas con las etapas de aplicación.