

LOS HORMIGONES PREMEZCLADOS Y LOS ADITIVOS(*)

Por JUAN F. LOPEZ BAILLO

Alumno de la Escuela de Ingenieros de Caminos

En el presente artículo, galardonado con el premio HALESA 1972, se analizan las principales características del hormigón premezclado, así como su fabricación y puesta en obra.

El hormigón premezclado es, esencialmente, un producto de gran calidad, a causa del cuidadoso proceso que se sigue desde que es preparado hasta el momento de su utilización. El empleo de aditivos adecuados en las condiciones precisas garantiza el mantenimiento de dicha calidad en las más diversas condiciones de expedición y servicio, a la par que se aseguran los más brillantes resultados por el control inherente a esta industria. Por esta razón, la segunda parte del artículo está dedicada a exponer las propiedades de los aditivos más apropiados para ser utilizados en los hormigones premezclados.

1. Introducción.

En las últimas décadas se ha producido un rápido avance en el conocimiento y la tecnología del hormigón, lo que ha permitido la apertura de nuevos horizontes, cada día más amplios, para la utilización en gran escala de este material constructivo tan tradicional.

El hormigón pretensado, el hormigón preamasado, los hormigones ligeros y polimerizados, los bloques y tuberías de hormigón fabricados industrialmente, las diversas variedades de prefabricados de hormigón para la construcción de viviendas — desde las pequeñas unidades para el recubrimiento de fachadas a los grandes módulos volumétricos del tamaño de una habitación, que se producen en algunos países de gran desarrollo tecnológico, pasando por los sistemas pesados, a base de grandes paneles, tan extendidos por Europa —, todos contribuirán no sólo a que el hormigón siga siendo el material más ampliamente utilizado, sino que proporcionarán al hombre la más eficaz herramienta para combatir las agudas necesidades de viviendas y de construcciones de todo tipo previstas para las últimas décadas del siglo XX, expresadas por los expertos de las Naciones Unidas en los concluyentes términos de que la Humanidad deberá construir, en di-

cho período, tanto como ha construido a lo largo de toda su historia.

1.1. El hormigón premezclado.

Con la expresión hormigón premezclado — Ready Mixed Concrete (1); Béton Prêt-à-l'Emploi (2) — se denomina genéricamente a los hormigones preparados en centrales situadas fuera de la obra en que van a ser utilizados, y mezclados, bien en dicha planta, bien durante su traslado a la obra, o bien parcialmente mezclados en la central y terminados de amasar en el camino hacia el lugar de utilización.

La primera central conocida fue instalada en Hamburgo en 1903, manteniéndose en funcionamiento hasta 1921. Es, sin embargo, en los Estados Unidos donde esta nueva técnica evoluciona hasta su desarrollo actual. En 1909 aparece en Sheridan el primer carro-hormigonera, tirado por caballos. Once años más tarde, en 1920, la casa Ford lanza al mercado los primeros camiones-hormigonera. Con anterioridad, en 1913, se había establecido, en Baltimore, la primera central fija. En 1925 ya existían veinticinco centrales, que pasaron a ser cien en 1930, creándose en este mismo año la National Ready Mixed Concrete Association. En 1968, 3.000 centrales y una flota de 60.000 camiones-hormigonera preparaban 150 millones de metros cúbicos de hormigón, lo que representaba el 60

(*) Se admiten comentarios sobre el presente artículo, que pueden remitirse a la Redacción de esta Revista hasta el 31 de marzo de 1973.

por 100 de todo el hormigón elaborado en USA en ese período.

En Europa, la evolución fue más lenta, aunque su crecimiento ha sido espectacular durante las últimas décadas.

La primera central de Inglaterra data de 1930. En 1951, con 12 centrales, se constituyó la British Ready Mixed Concrete Association. En 1968, 750 centrales expedían 17 millones de metros cúbicos de hormigón premezclado.

En Alemania, después de aquella primera experiencia de Hamburgo, hay que esperar a 1954 para que aparezcan dos centrales. En 1968, 1.000 centrales producían 20 millones de metros cúbicos de hormigón.

La primera central francesa se instaló en la región parisiense en 1933. En 1964, 50 centrales producían 0,6 millones de metros cúbicos de hormigón, y, desde entonces, la producción se ha ido duplicando prácticamente cada año. En 1968, 311 centrales preparaban casi 8 millones de metros cúbicos (3).

Los hormigones premezclados se introdujeron en España en 1955, pero hasta 1964 no comenzó a generalizarse su empleo. El cuadro 1 indica la evolución del sector en nuestro país. La capacidad máxima teórica de las plantas existentes en 1970 era de 14 millones de metros cúbicos. Sin embargo, el volumen de producción superaba ligeramente los seis millones de metros cúbicos en esa misma fecha, lo que indica un elevado grado de infrautilización de la capacidad disponible.

CUADRO 1

Año	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Núm. de plantas de hormigón...	5	15	28	47	83	126	175

Fuente: III Plan de Desarrollo.

El hormigón premezclado no es, por lo tanto, un hormigón diferente, ni un producto "nuevo", aunque sea reciente su utilización en gran escala, ya que, como hemos visto, tan sólo a partir de los años 50 se generaliza su empleo (fig. 1).

Para que este espectacular "boom" haya podido producirse, ha sido preciso que se den simultáneamente una serie de factores. En primer lugar, la industria de la construcción tenía que evolucionar, en general, hacia el logro de

una mayor calidad en sus realizaciones. El hormigón premezclado es esencialmente un producto de gran calidad, y no podría tener lugar en una industria de la construcción apegada a métodos y procedimientos prácticamente artesanales, carente de preocupación por la uniformidad del producto utilizado y por el control de la calidad del mismo. Sólo cuando estas premisas han llegado a ser una exigencia se ha podido desarrollar la industria de los hormigones premasados (cuadro 2).

CUADRO 2. — Producción europea de hormigón premezclado en 1966 (4).

PAIS	Producción de cemento (a) 1.000 Tm	Consumo de cemento para la producción de hormigón premezclado		Producción de hormigón premezclado (A) 10 ⁶ m ³
		1.000 Tm	% (a)	
Alemania Fed.	34.057	4.747	17	10,2
Gran Bretaña	16.836	3.865	28	15
Suecia	3.691	1.634	54	6,1
Italia	22.498	1.106	6	4,2
Francia	23.415	1.130	6	3,8
Bélgica	5.794	807	17	3,1
Países Bajos	3.163	830	32	3,1
Grecia	3.594	295	10	1,1
España	11.812	194	2	0,8

(A) Referido a un hormigón con 260 Kg de cemento por metro cúbico.

Fuente: "Cembureau".

Pero también era necesario llegar a un conocimiento más profundo del comportamiento y de la influencia de los distintos componentes del hormigón — y, por lo tanto, de los aditivos (5) — sobre las propiedades de la mezcla, tanto antes como después de su fraguado.

Por otra parte, la fabricación del hormigón, cada día más científica y especializada, y la necesidad de un control sistemático y completo a todos los niveles, desde el almacenamiento de los componentes a la elaboración del producto, obligarían a las empresas a la adquisición y mantenimiento de maquinaria cada vez más variada y cara. Las centrales de hormigón premezclado liberan a los constructores no sólo de las pesadas cargas financieras que esto su-

Evolución de la producción de hormigón pretensado.
(Fuente: "Cembureau".)

Evolución del número de centrales.
(Fuente: "Cembureau".)

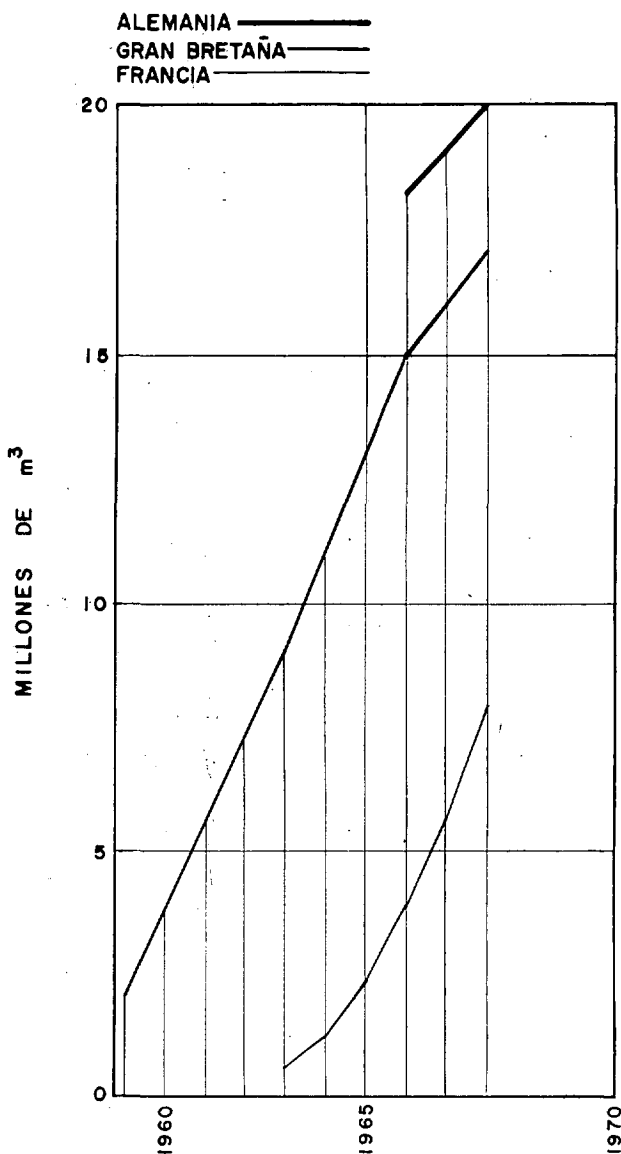
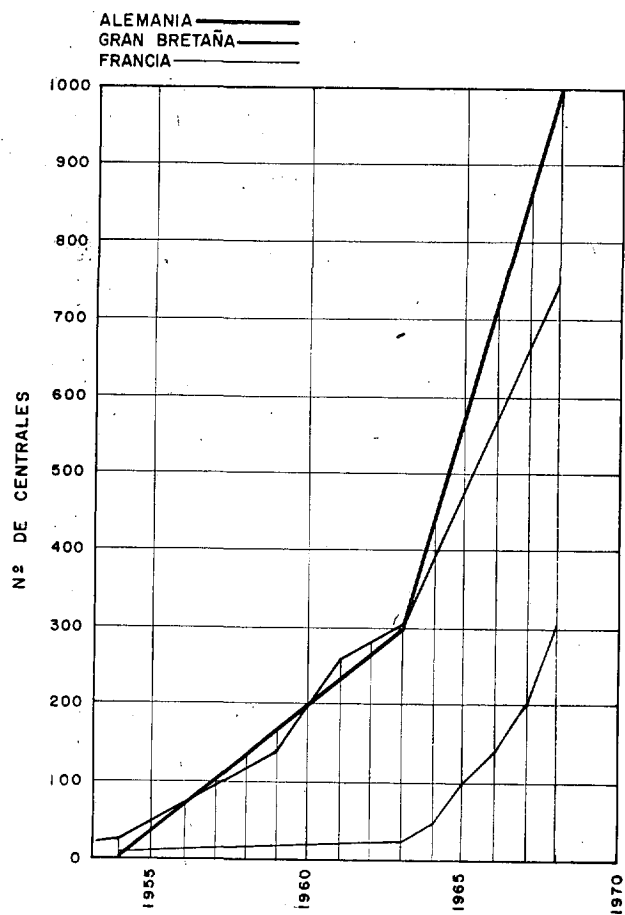


Figura 1.

pondría, sino también de los problemas — generalmente muy graves en zonas urbanas — de organización de la obra, relacionados con el aprovisionamiento, almacenamiento y transporte de los componentes, y la elaboración y transporte en obra del hormigón, con la consiguiente racionalización del trabajo, ahorro de espacio y aumento de la productividad.

Para poder ser competitiva frente a la preparación *in situ*, la fabricación del hormigón premezclado debe ser lo suficientemente flexible como para permitirle satisfacer los más di-

versos requerimientos. Su elaboración, transporte y puesta en obra han de hacerse con independencia de la temperatura ambiente. El producto así definido ha de ser uniforme y susceptible de ser transportado lo más lejos posible, para permitir a la central un radio de acción adecuado desde un punto de vista estrictamente económico. Pero el hormigón es, por naturaleza, un producto perecedero, y de nada valdría el hormigón premezclado si no llegase a la obra en condiciones de empleo óptimas. Por eso, un factor decisivo en la creciente im-

portancia de la industria de los hormigones premezclados, ha sido el alto grado de conocimientos alcanzado sobre la acción de los aditivos en el hormigón, y la gran calidad de algunos de los productos existentes en el mercado (6).

Por las características indicadas, los hormigones premezclados son especialmente indicados para su empleo en la construcción en zonas urbanas. De ahí que los mayores porcentajes de la producción total de casi todos los países se dediquen a tal fin. El volumen relativo utilizado en obras públicas es también muy importante, en particular el que se refiere a la construcción de pavimentos rígidos para carreteras y vías urbanas.

1.2. Tipos de hormigones premezclados.

La American Society for Testing and Materials, en su norma C 94-71 (7), define tres tipos de hormigones premezclados, según la forma y el lugar de preparación de los mismos:

- Hormigones dosificados y mezclados en la central.
- Hormigones dosificados en la central y mezclados durante el trayecto a la obra.
- Hormigones mixtos: dosificados y parcialmente amasados en la central, y terminados de preparar en su camino a la obra.

1.3. Centrales de preparación.

Las centrales pueden ser exclusivamente dosificadoras o dosificadoras y mezcladoras.

Básicamente, el equipo de las centrales de preparación de hormigón premezclado es el siguiente (8):

- a) Instalaciones de recepción, descarga, almacenamiento y manejo, tanto de los áridos como del cemento, ya venga éste en masa o en sacos, de modo que no haya posibilidad alguna de mezcla entre los distintos tipos de áridos y cementos, ni de alteración de estos últimos por los agentes atmosféricos (9).
- b) Grupos de pesada para la dosificación de áridos y cemento.

- c) Aparatos para aprovisionamiento y medida de agua. Esta puede realizarse por volumen o por peso, y aunque ambas son prácticamente análogas, la tendencia actual, de cara a una mayor calidad, es de medirla por peso (10).
- d) Equipos de calefacción de agua y áridos para operaciones en tiempo frío.
- e) Cubas de almacenamiento de aditivos y de preparación de la mezcla, cuando son solubles, como generalmente ocurre.
- f) Dispositivos para la dosificación de los aditivos, siendo preferible que ésta se lleve a cabo por peso en vez de por volumen.
- g) Instalaciones fijas de amasado, en las centrales mezcladoras.
- h) Cabina de mando. Este puede ser:
 - Semiautomático: La composición del hormigón se fija manualmente sobre el tablero, siendo automáticas las operaciones.
 - Automático: Por fichas o bandas perforadas, verificándose automáticamente el ciclo completo.
 - Por ordenadores: En orden a aumentar la eficacia de la instalación y la calidad del producto, los equipos de proceso de datos se emplean con frecuencia cada vez mayor, en especial en centrales mezcladoras. A partir de los datos del pedido de cada cliente el ordenador calcula la composición básica del hormigón, haciendo intervenir factores que, de no ser por él, no podrían ser tomados en cuenta, tales como el grado de humedad de los diferentes áridos — medido por sondas eléctricas o neutrónicas —, o el porcentaje de incorporación de aditivos líquidos en relación con el peso del cemento, descontándolo del agua de amasado, etc. Las centrales equipadas con este tipo de cabina de mandos son caras, en especial porque todas las demás instalaciones han de ser de análoga eficacia, pero terminarán imponiéndose por la flexibilidad de fabricación que ofrecen y por la gran calidad del hormigón así producido.

Prácticamente el único límite de la precisión del ordenador está en los medios de pesada utilizados.

- i) Oficinas de administración y laboratorio dotado con los medios precisos para efectuar los ensayos correspondientes.

Las centrales exclusivamente dosificadoras, en las que el amasado tiene lugar durante el trayecto, son más simples y baratas que las centrales mezcladoras, a igualdad de rendimientos. Su volumen de producción está únicamente limitado por el número y la capacidad de los camiones-hormigonera (de 4 a 6 metros cúbicos, por término medio).

Las centrales mezcladoras permiten una mayor coordinación y control de la calidad del proceso, por verificarse en ellas todas las operaciones. En particular, al no depender del conductor de los camiones, ni la medición del agua ni el tiempo de amasado, proporcionan hormigones más uniformes. Además, permiten cargar los camiones con un 50 por 100 más de peso, aproximadamente.

En los países de mayor desarrollo de estas técnicas, gran parte de los hormigones premezclados se fabrican en este tipo de centrales. Así, en Francia, el 75 por 100 de las centrales son mezcladoras, elaborando el 80 por 100 de la producción total del hormigón premezclado. La tendencia general también apunta en este sentido.

Estas centrales, cuando están servidas por camiones-hormigonera, pueden también actuar como centrales combinadas. En este caso, en días de pequeña demanda es posible la eliminación del equipo de amasado de la planta, utilizando los camiones con este fin. Por el contrario, en días de mucho trabajo, el uso de aquél permite aumentar considerablemente la capacidad de producción, al ser mayor el volumen transportable por los camiones-hormigonera empleados como agitadores (11).

1.4. Transporte del hormigón premezclado.

El transporte del hormigón preparado en central hasta la obra en que va a ser utilizado se puede realizar mediante:

- Camiones agitadores.
- Camiones-hormigonera, con ésta operando a velocidad de agitación, de unas

dos revoluciones por minuto, aproximadamente.

- Equipos no agitantes: Camiones con cajas inmóviles especialmente diseñadas.

Todos ellos han de ser capaces de mantener al hormigón formando una mezcla homogénea durante el trayecto, y de descargarlo con un grado suficiente de uniformidad.

Los equipos agitantes de uno u otro tipo son los de uso más extendido; protegiendo mejor contra la segregación de la mezcla, aunque resultan más caros. También permiten una mayor distancia de servicio, cifrada por la ASTM C 94-71 en una hora treinta minutos de trayecto, frente a sólo cuarenta y cinco minutos permisibles para los equipos no agitantes. Sin embargo, y gracias a un adecuado uso de los aditivos, en especial de los aireantes, se observa una cierta tendencia hacia un progresivo empleo de estos últimos. Las razones son el menor coste del equipo; un mantenimiento más barato debido a la ausencia de partes móviles; la posibilidad de emplear el camión para transportar áridos u otros materiales en caso necesario y, muy concretamente, el que éstos equipos permiten trasladar un volumen mayor de hormigón en cada viaje.

Los camiones-hormigonera utilizados para el amasado del hormigón durante su transporte, han de ser capaces, como cualquier hormigonera, de mezclar los ingredientes en el tiempo requerido, o con el número de revoluciones especificado. De acuerdo con la distancia al lugar de descarga, y una vez introducida el agua en el tambor, el conductor debe calcular el tiempo de amasado y elegir la velocidad adecuada para asegurar una mezcla perfecta en el momento de la entrega. El inconveniente es que con estos equipos siempre hay posibilidad de aumentar la relación agua-cemento, con el consiguiente deterioro de las propiedades mecánicas del hormigón, bien por error del operador al introducir el agua de amasado — ya que siempre se dispone de un exceso de agua para proceder a la limpieza del tambor, una vez descargado el producto, o bien por rimposición del comprador, quien, tal vez por ignorancia y buscando la mayor comodidad de puesta en obra, suele preferir hormigones más fluidos de lo conveniente. Como veremos, el empleo de aditivos fluidificantes permite mejorar la manejabilidad

sin aumentar la relación agua-cemento de la mezcla ni, por tanto, disminuir su capacidad resistente (12).

2. Aditivos para el hormigón premezclado.

El último informe del Comité 212 del American Concrete Institute (13), siguiendo la terminología de la ASTM, define los aditivos como "todo material distinto del agua, áridos y cemento, que se emplea como ingrediente del hormigón, y se añade a la masa inmediatamente antes o durante su mezcla", con el propósito de proporcionar determinadas propiedades o de incrementar las ya existentes (14).

Dicho informe clasifica los aditivos en 20 clases diferentes, de acuerdo con sus efectos sobre el hormigón. En realidad, lo que hace es reunir los aditivos propiamente dichos, de acción esencialmente química, con otros productos de naturaleza mineral, finalmente divididos y más o menos activos químicamente, como puzolanas, cenizas volantes, bentonita, talco, cáles hidráulicas, tierras de diatomeas, etcétera, a los que conocemos genéricamente con el nombre de adiciones.

La ASTM reconoce en su norma C 494-71 (15) cinco tipos diferentes de aditivos: A) Reductores de agua. B) Retardadores del fraguado. C) Aceleradores del fraguado. D) Reductores de agua y retardadores del fraguado. E) Reductores de agua y aceleradores del fraguado. Recoge aparte los aditivos aireantes (16) y el cloruro cálcico (17), aunque éste podría ir incluido en alguno de los anteriores.

Los aditivos se están convirtiendo en una parte cada día más importante de la tecnología del hormigón. Su empleo se exige con frecuencia creciente en edificación, construcción de presas y autopistas, trabajos marítimos e hidráulicos, etc.

Alguno de ellos pueden tener más de un efecto (18), como el cloruro cálcico, que en determinadas condiciones mejora la docilidad (*), acelera el fraguado y ayuda al curado del hormigón. A veces, la adquisición por la mezcla de las propiedades buscadas se contrarresta por la aparición de otras no deseables, como ocurre con algunos aceleradores que permiten conseguir una resistencia a corto plazo más elevada, pero en detrimento de las resistencias a

largo plazo, a causa de una hidratación más rápida al principio, pero por ello mismo más lenta e incompleta después (19).

Por esto es a veces conveniente la utilización de mezclas de aditivos que refuercen las acciones requeridas y eliminen en lo posible las no deseables.

La cantidad de aditivo utilizado es de gran importancia, ya que, por estar íntimamente relacionadas entre sí todas las propiedades del hormigón y poder aquél influir simultáneamente en varias de ellas, se pueden potenciar los efectos secundarios nocivos a partir de determinadas dosis.

Esto hace que el empleo de los aditivos sea un arma de doble filo, que utilizada con un conocimiento profundo del proceso que originan produce resultados sorprendentes, pero que, en manos inexpertas, puede conducir a consecuencias desastrosas. Por eso, la mayor parte de los defectos achacados a los aditivos por sus detractores suelen provenir de la ignorancia sobre sus propiedades y modo de empleo, de la inapropiada elección del producto, o de no realizar ensayos suficientes sobre su comportamiento en las condiciones específicas de la obra, incluida la temperatura ambiente, y con los mismos materiales que van a ser utilizados para elaborar el hormigón.

El hormigón premezclado, fabricado en las mejores condiciones, dosificado con notable exactitud, amasado suficientemente para lograr una perfecta homogeneización y sometido a un riguroso control de calidad, es el medio idóneo para la utilización de aditivos, pues su efecto es tanto más notable cuanto mejor es el hormigón a que se aplican. Por otra parte, la utilización de la experiencia adquirida es más fácil en las centrales de hormigones preparados, donde todas las condiciones con influencia sobre los resultados finales son siempre mucho más constantes (20).

Además de los específicos para conseguir un resultado determinado en casos particulares, los aditivos más adecuados para los hormigones preparados serán aquellos que permitan el transporte de la mezcla en perfectas condiciones de homogeneidad, sin que se presenten síntomas de segregación; faciliten la puesta en obra y mantengan o mejoren su propiedades resistentes. Vamos a analizar los tipos más frecuentemente utilizados por la industria del hormigón premezclado.

(*) Expresión acuñada por Iribarren para traducir el término "workability".

2.1. Aditivos aireantes.

Los aireantes, considerados como uno de los avances más importantes en la tecnología de la fabricación del hormigón, comenzaron a utilizarse en los Estados Unidos para la construcción de carreteras durante la década de los treinta, al comprobarse la resistencia a las heladas de los hormigones así tratados. Desde entonces, el campo de sus aplicaciones no ha dejado de aumentar para mejorar las propiedades, tanto del hormigón fresco como del endurecido, llegando a ser denominados el quinto constituyente del hormigón (21).

Los aditivos utilizados como aireantes son una serie de compuestos orgánicos, de moléculas más o menos complejas, como son algunas resinas naturales, jabones y aceites sulfonados, derivados de ácidos hidrocarboxílicos, etc. Su presencia crea en el hormigón en estado plástico una serie de pequeñísimas burbujas de aire de hasta unas 75 micras de diámetro, que son relativamente estables, pues no se deshacen ni bajo presión, originando posteriormente una distribución continua de diminutas oquedades en el hormigón endurecido. La cantidad de aire ocluido no es completamente proporcional al porcentaje de aditivo, como se aprecia en la figura 2.

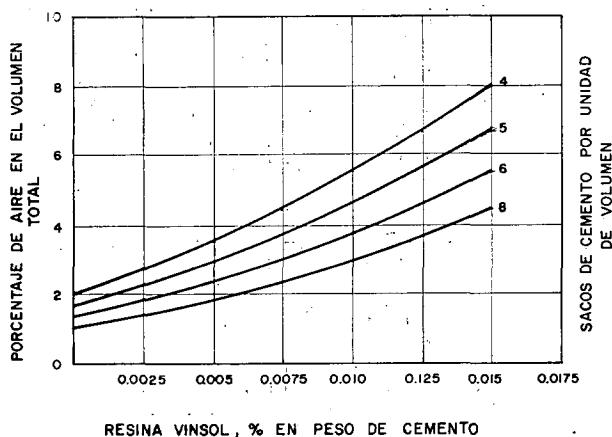


Fig. 2. — Efecto de la cantidad de resina Vinsol en el contenido de aire de un hormigón, para distintos contenidos de cemento.

Tamaño del árido mayor: 1 pulgada.
Consistencia: 3 a 4 pulgadas.

Su empleo en la masa del hormigón fresco tiene como principales consecuencias las siguientes:

a) Mejora de la docilidad y control de la segregación. Las pequeñas burbujas actúan a modo de cojinetes de bolas elásticas, o de lubricantes, permitiendo el resbalamiento de unas partículas sobre otras, lo que facilita notablemente el transporte y la colocación del hormigón. Durante estas operaciones la homogeneidad del mismo permanece inalterable, debido al efecto de flotación de las partículas provocado por las esferillas de aire.

b) Reducción de la relación agua-cemento. Como consecuencia directa de lo anterior, es posible, a igualdad de docilidad, disminuir el agua de amasado (fig. 3) y aumentar, por con-

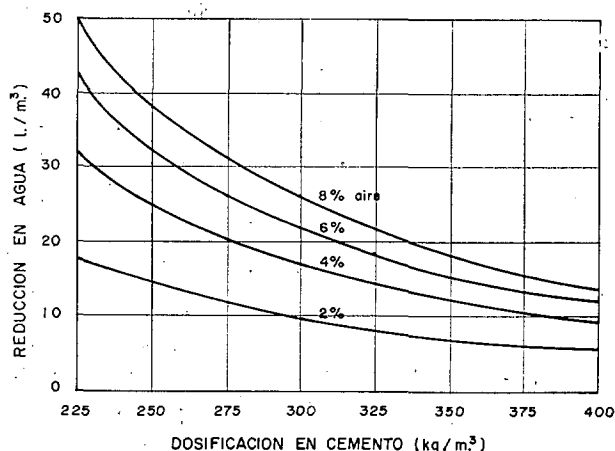


Fig. 3. — Reducción de agua en función del tanto por ciento de aire ocluido (Venuat).

siguiente, la resistencia del hormigón. El cuadro número 3 muestra los incrementos de resistencia obtenidos por Ferreras (22) en ensayos de cuatro tipos diferentes de aireantes sobre un hormigón, para distintas dosificaciones de cemento y la misma docilidad.

CUADRO 3

Dosificación en cemento	230	290	350
Sin airear	100	100	100
Aireante A	124	105	100
Aireante B	129	102	100
Aireante C	136	105	100
Aireante D	122	99	98

Los efectos más importantes de la acción de los aireantes sobre el hormigón ya fraguado son:

c) Aumento de la impermeabilidad y de la resistencia a las heladas. Las burbujas de aire ocluido rompen la retícula de huecos del hormigón y disminuyen el número de canales capilares interconectados por los que el agua pueda penetrar, aumentando la impermeabilidad y, de manera espectacular, la resistencia a la acción destructiva de la congelación del agua absorbida.

La figura 4 muestra los resultados obtenidos por Klieger y Hanson en el factor de durabili-

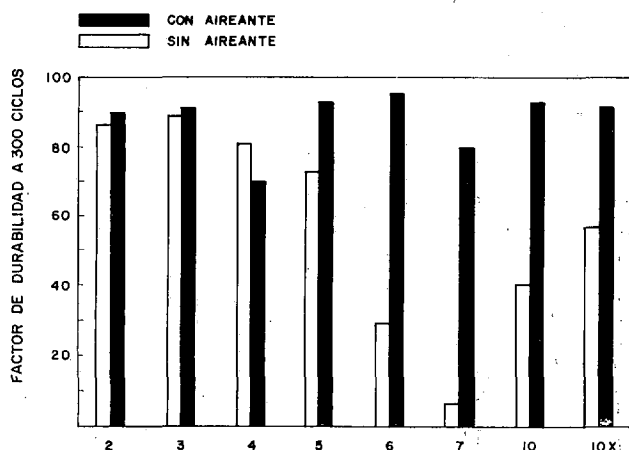


Fig. 4. — Influencia del aire ocluido sobre la durabilidad de diferentes hormigones de 3.000 psi.

dad a 300 ciclos de hielo-deshielo, de hormigones de idéntica resistencia y áridos ligeros de distinta naturaleza, mediante el uso del mismo porcentaje de aire ocluido (23).

La influencia del aire ocluido sobre el factor de durabilidad a los ciclos de hielo-deshielo se aprecia claramente en la figura 5. La durabili-

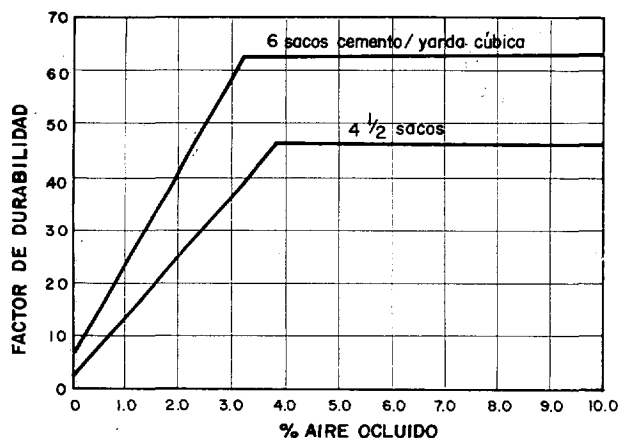


Fig. 5. — Durabilidad y contenido en aire (Gonnerman).

dad aumenta rápidamente hasta un cierto porcentaje de aire, que suele ser de 2,5 a 3,0 por 100, a partir del cual permanece constante. Dado que, como veremos luego, la cantidad de aire ocluido disminuye la resistencia del hormigón, Gonnerman establece que el porcentaje óptimo de aireante necesario para aumentar la resistencia de aquél a las heladas es el mínimo de los que provocan la máxima durabilidad (24).

d) Disminución de la resistencia a la compresión. Las esferillas de aire distribuidas en la pasta, se adhieren fuertemente sobre el cemento, impidiendo una mejor hidratación del mismo, lo que unido a que en el volumen total hay que considerar el volumen de aire ocluido, produce un cierto descenso de la resistencia del hormigón para la misma relación agua-cemento (fig. 6).

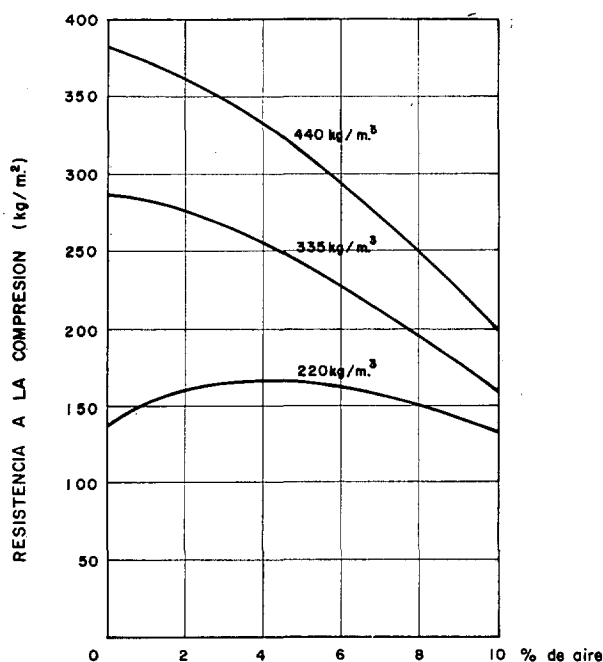


Fig. 6. — Influencia del aire en la resistencia a la compresión de un hormigón (Venuat).

Este efecto se compensa, generalmente con creces, por la posibilidad de reducir la relación agua-cemento, gracias a la notable mejora de la docilidad experimentada por el hormigón aireado.

e) El aspecto estético del hormigón después de desencofrado, de gran importancia arquitectónica, y la resistencia a la acción de las

aguas agresivas, son otros resultados positivos del empleo de aireantes.

La cantidad empleada debe ser tal que produzca el porcentaje de aire necesitado, lo que depende considerablemente del tamaño máximo de los áridos utilizados, de la granulometría de los áridos finos (25) y de la riqueza de la mezcla (26). Por esto la dosis de aireante varía con el tipo y dosificación del hormigón en que va a ser utilizado, debiéndose huir de las "recetas únicas".

Después de esta relación de sus propiedades, vemos que los aireantes son aditivos de gran utilidad para su empleo por la industria de los hormigones premezclados, especialmente por los efectos que producen sobre el hormigón fresco, pues permiten su transporte a grandes distancias sin merma de las cualidades requeridas, facilitando posteriormente su puesta en obra. Su uso es siempre conveniente en estos hormigones y obligatorio si se utilizan equipos no agitadores para su transporte. En este caso se alcanzan generalmente distancias de hasta 10 ó 12 millas, y a veces más, siempre dentro de los cuarenta y cinco minutos de tiempo máximo de trayecto (8).

2.2. *Aditivos plastificantes reductores de agua.*

Son sustancias orgánicas tensoactivas, de carácter aniónico o no iónico, que hacen al agua más capaz de combinarse con el cemento, produciendo una mezcla más trabajable, de mayor resistencia y más duradera.

La mayoría de los agentes reductores de agua generalmente usados tienen como componente activo un radical OH estable, que actúa también con un cierto efecto retardador del fraguado.

Los más utilizados son los ácidos lignosulfónicos y sus sales, los ácidos hidroxicarboxílicos y sus sales, y modificaciones o derivados de ambos.

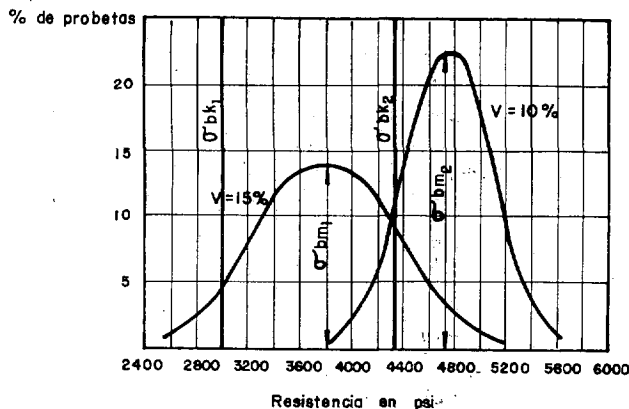
El hormigón que contiene lignosulfonatos normalmente requiere del 5 al 10 por 100 menos de agua que otro análogo sin aditivo, siendo las resistencias a corto plazo iguales o mayores en aquél. Otro tanto pasa con las resistencias a veintiocho días y a largo plazo, que pueden llegar a ser del 10 al 20 por 100 más elevadas. Con las cantidades convenientemente empleadas, pueden provocar la inclusión del 2 al 6 por 100, o incluso más, de aire.

Las sales de los ácidos hidroxicarboxílicos funcionan como agentes retardadores, reductores de agua y no aireantes. Utilizados en la proporción necesaria para retrasar el fraguado en un 30 por 100, la cantidad de agua puede llegar a reducirse en un 5 a 8 por 100. La resistencia a la compresión durante las primeras veinticuatro horas es menor, pero después de tres días son superiores en un 10 al 20 por 100 sobre las de hormigones análogos sin aditivos (14).

Los aditivos reductores de agua, al aumentar notablemente la docilidad y la resistencia del hormigón, permiten una considerable flexibilidad en el diseño de la mezcla. En hormigones que, para una resistencia determinada e invariable por razones estructurales, sean demasiado poco manejables, la presencia de estos aditivos aumenta espectacularmente la docilidad sin variar la relación agua-cemento, lo que facilita su puesta en obra. Por el contrario, cuando se necesita mejorar las características resistentes y/o disminuir el contenido de agua sin merma de otras propiedades, un aditivo reductor de agua puede conseguirlo sin sacrificar la docilidad. Además, como reducen la necesidad de agua en las cantidades señaladas, pueden originar una muy apreciable economía de materiales, lo que es muy interesante cuando se fabrica hormigón en grandes cantidades. Al disminuir la relación agua-cemento aumentan las resistencias, por lo que se pueden diseñar, con su ayuda, mezclas más económicas que cumplan las condiciones resistentes exigidas por el cliente.

Estos aditivos tienen una enorme importancia de cara a la uniformidad del hormigón, expresada por el coeficiente de variación de los resultados de ensayos de resistencia a la compresión, que será tanto menor cuanto mayor sea aquélla. En la figura 7 se observa esto, además de los efectos de aumento de resistencia comentados anteriormente, en un hormigón tratado con plastificante (27). Por otra parte, la figura 8, tomada del ACI 214-57, ilustra gráficamente acerca de la menor resistencia media requerida, para una determinada resistencia característica, a medida que disminuye el coeficiente de variabilidad.

Vemos así que los agentes reductores de agua son de gran utilidad para que los fabricantes de hormigón premezclado puedan ofrecer un producto de gran calidad, haciendo un uso más eficaz de los materiales disponibles,



σ_{bm} RESISTENCIA MEDIA
 σ_{bk} RESISTENCIA CARACTERISTICA

Fig. 7. — Variación de la resistencia característica con la uniformidad.

facilitando el logro de las resistencias requeridas por los clientes y mejorando considerablemente la docilidad del producto, incluso con menos agua, lo que es esencial para un transporte y puesta en obra barato y en perfectas condiciones.

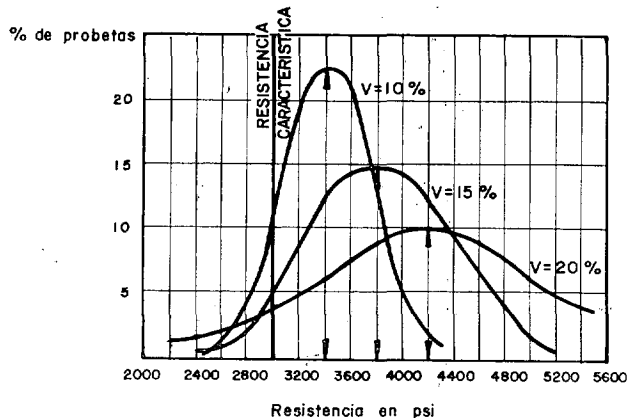


Fig. 8. — Variación de la resistencia media con la uniformidad.

Aparte de sus efectos de reducción del agua de amasado, aumento de las resistencias a corto o largo plazo, control de la consistencia y mejora de la uniformidad y docilidad, los aditivos plastificantes reductores de agua:

- Controlan el contenido en aire.

- Aumentan la impermeabilidad, por el aumento de homogeneidad de la mezcla y la reducción del agua de amasado.
- Aumentan la durabilidad en una proporción que oscila alrededor del 10 por 100.
- Estabilizan al hormigón frente a los cambios de volumen debidos a la retracción.
- Mejoran la estética del mismo, tanto al quitar los moldes, por la ausencia de coqueas y uniformidad del acabado, como a largo plazo, por su mayor durabilidad.

2.3. Retardadores del fraguado.

Los productos básicos que entran en la composición de los retardadores comerciales son generalmente sustancias orgánicas de los tipos siguientes:

- Acido lignosulfónico y sus sales, que como sabemos actúan también como aireantes y reductores de agua.
- Acido hidroxicarboxílico y sus sales, que también tienen efectos reductores de agua.
- Hidratos de carbono de fórmula general $C_n(H_2O)_m$, siendo los más utilizados la glucosa, la sacarosa, el almidón y la celulosa.

Otros retardadores son los fosfatos, la glicerina, los óxidos de cinc y plomo, el bórax, las sales de magnesio y los ácidos fosfórico y fluorhídrico.

El campo de utilización de los retardadores ha aumentado considerablemente en los últimos diez años. Sus efectos, en especial los de los productos más simples, de un solo componente, varían con cada tipo de hormigón, por lo que es aconsejable ensayar cada producto antes de utilizarlos.

Su presencia en el hormigón provoca un retraso en la disolución o la difusión de los componentes anhidros del cemento (28), demorando el comienzo y el fin del fraguado. Las resistencias mecánicas a corto plazo del hormigón tratado con estos aditivos disminuyen tanto más cuanto más retardador sea el producto, aumentando, sin embargo, a largo plazo (figura 9).

Se emplean ampliamente en las centrales de

fabricación de hormigón preparado porque permiten controlar con precisión los tiempos de fraguado, posibilitando el transporte a mayores distancias de las que se logran sin aditivos de este tipo.

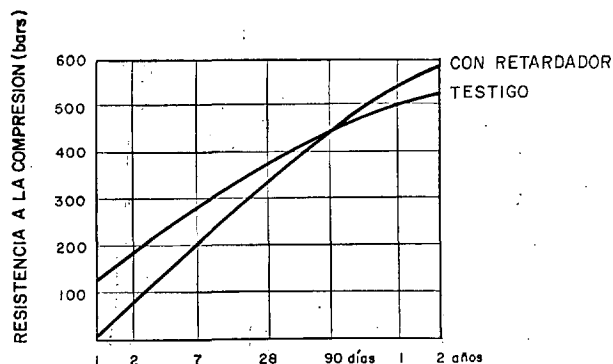


Fig. 9. — Influencia de los retardadores en la resistencia (Venuat).

En particular, algunos fabricantes utilizan el azúcar granulado o el bórax para ser añadidos a la mezcla por los conductores y combatir la segregación en situaciones de emergencia, producidas por avería en los vehículos o por un tiempo de transporte excesivamente largo a causa del tráfico.

2.4. Aceleradores de fraguado.

Se emplean en los hormigones preparados tan sólo en casos especiales, no siendo frecuente su uso, por el riesgo patente de provocar el fraguado durante el transporte.

Únicamente se utilizan cuando son especialmente solicitados por el cliente, por necesitar éste un rápido desencofrado, añadiéndose, en estos casos, a la cuba del camión-hormigonera en el momento de llegar a la obra.

Algunos de ellos, como el cloruro cálcico, provocan una ligera disminución del punto de congelación del agua, pero su efecto principal es el de acelerar la hidratación de cemento y aumentar la temperatura de la masa una vez iniciado el fraguado, en especial si el hormigón está protegido de la intemperie (29). Esto hace que muchos piensen que los aceleradores de fraguado son anticongelantes, lo que no es cierto. Facilitan, evidentemente, el hormigonado en

tiempo frío, pero su efecto específico no es éste. Además, su empleo con agua y áridos calientes suele provocar un rápido fraguado, a veces inmediato, lo que no suele ser deseable en los hormigones premezclados, a no ser que se añadan a la masa poco antes de descargarla.

2.5. Anticongelantes. Hormigonado en tiempo frío.

Los anticongelantes son aditivos que permiten fraguar al hormigón cuando la temperatura ambiente es inferior a la de congelación del agua, actuando simultáneamente, en general, en dos sentidos: rebajando el punto de congelación del agua y elevando el calor de hidratación del cemento, lo que aumenta paulatinamente la temperatura de la masa y desencadena el fraguado (30).

Según Venuat, los anticongelantes que se encuentran en el mercado son compuestos bivalentes o trivalentes de algunos de los productos siguientes:

- Aceleradores. Además del Cl_2Ca , se emplean los silicatos o carbonatos alcalinos, así como el aluminato o el oxalato de sodio.
- Aireantes de acción moderada, generalmente a base de lignosulfitos, con el mínimo de azúcar posible. Como estos productos tienen una acción fluidificante, es posible, como ya vimos, reducir la cantidad de agua.
- Dispersantes: Agua, en el caso de aditivos líquidos, o polvo fino — cal, kieselguhr —, si el aditivo viene en polvo. Estos últimos también ejercen una acción plastificante.
- Reguladores del envejecimiento, como la urea y el gluconato sódico.

El empleo de anticongelantes, unido al calentamiento del agua y de la mezcla, facilitan enormemente las tareas de transporte y hormigonado en tiempo frío, por lo que representan una gran ayuda para la industria del hormigón preparado, que puede suministrar hormigones de calidad incluso cuando las temperaturas bajan de 0°C .

REFERENCIAS

1. U. S. Bureau of Reclamation. American Society for Testing and Materials. American Concrete Institute. American Road Builders Association. National Ready Mixed Concrete Association. Cembureau.
2. Cembureau. Bureau Européen du Béton Prêt-à-l'Emploi. Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions, RILEM.
3. ALEXANDRE, J.: "El hormigón premezclado". *Potencia*, núm. 74, octubre 1970.
4. MILHOMME, A. J.: "Le Béton prêt-à-l'emploi et ses conséquences sur l'évolution technique dans le bâtiment et les Travaux Publics". *Annales de l'ITBTP*, núms. 247-248, julio-agosto 1968.
5. PEREZ PAHISA, M.: "El cuarto componente del hormigón". *Cemento y Hormigón*, febrero-marzo 1967.
6. WALTER, J. H.: "Research Contribution to Ready-Mixed Concrete Technology". *Cement, Lime and Gravel*, enero 1969.
7. "Standard Specifications for Ready Mixed Concrete", 1971 Book of ASTM Standards, parte 10. Philadelphia.
8. "Ready Mixed Concrete", 1971-72 Concrete Industries Yearbook. Pitt & Quarry. Chicago, 1971.
9. "Instrucción para el proyecto y ejecución de hormigón en masa o armado". M.O.P., 1968.
10. ARREDONDO, F.: "Hormigones". Estudio de Materiales. IETCC, 1969.
11. "Concrete Plant Standards", del Concrete Plant Manufacturers Bureau. Marzo, 1966.
12. ALEMAS, núm. 49. Abril-mayo 1970.
13. "Guide for Use of Admixtures in Concrete". *Journal of the ACI*, septiembre 1971.
14. TROXELL, DAVIS, KELLY: "Composition and Properties of Concrete". New York, 1968.
15. ASTM C 494-71: "Standard Specifications for Chemical Admixtures for Concrete". Ob. cit.
16. ASTM C 260-69: "Standard Specifications for Air Entraining Admixtures for Concrete". Ob. cit.
17. ASTM D 98: "Standard Specifications for Calcium Chloride". Ob. cit.
18. HERNANDEZ RUBIO, J. A.: "Efectos de los aditivos en el hormigón utilizado en la construcción de grandes presas". *Revista de Obras Públicas*, julio 1971.
19. CALLEJA, J.: "Consideraciones generales sobre los aditivos y su normalización". Conferencia en la XVI Jornada Técnica ALEMAS. Madrid, 1970.
20. DE LA PEÑA QUEVEDO, C.: "Empleo de los aditivos en hormigón armado y pretensado". Conferencia en la XVI Jornada Técnica ALEMAS. Madrid, 1970.
21. VENUAT, M.: "Adjuvants et Traitements des Mortiers et Bétons". Paris, 1971.
22. FERRERAS FERNANDEZ, L.: "Empleo de los aditivos en hormigón en masa". XVI J. T. ALEMAS.
23. Klieger, P., y HANSON, J. A.: "Lightweight aggregate concrete". *ACI Journal*, enero 1961.
24. GONNERMAN, H. F.: "Test of Concretes Containing Air-Entraining Portland cements or air-entraining materials added to batch at mixer". *ACI Journal*, junio 1944.
25. ZOLDNERS, N. G.: "Aggregate size affects properties of concrete". *ACI Journal*, marzo 1961.
26. SCRIPTURE, E. W., y otros: "Air entraining and resistance to freezing and thawing". *ACI Journal*, diciembre 1951.
27. POZZOLITH, de Master Builders.
28. CALVO FIDALGO, J. L.: "Empleo de los aditivos en hormigones transportados y bombeados". XVI J. T. ALEMAS.
29. SCHACKLOCK, B. W.: "The Use of Admixtures in Concrete". *Concrete & Constructional Engineering*, septiembre 1962.
30. LAHUERTA VARGAS, J.: "Los aditivos en la edificación". XVI J. T. ALEMAS.
31. "Recommended Practice for Evaluation of Compression Test Results of Field Concrete". American Concrete Institute. Detroit, 1957.