

EL HORMIGON "AIREADO" COMO NUEVO MATERIAL DE CONSTRUCCION

Por ISIDORO DE BLAS GOMEZ, Ingeniero de Caminos

El presente trabajo, que constituye una información interesante y nueva de una técnica original, está tomado de una de las Memorias presentadas por el autor al Instituto Técnico de la Construcción, como resultado de la información tomada en Norteamérica, por encargo de dicha Entidad, sobre las nuevas orientaciones en el empleo del hormigón. Este trabajo lo dividimos en dos artículos, resumiendo en éste los trabajos de investigación. En el próximo se dará cuenta de las conclusiones, así como de la bibliografía que señala sobre el tema.

Introducción.

La técnica norteamericana está empleando hoy día, con gran profusión y al parecer con gran éxito, en toda clase de obras de hormigón en masa y armado, un material nuevo que hemos traducido por hormigón aireado (*air-entrained concrete*), que posee una serie de propiedades y ventajas sobre el hormigón corriente. En realidad, este material no es esencialmente diferente del hormigón que hasta ahora se venía empleando y se emplea en España. La única diferencia consiste en la adición, bien en las fábricas al cemento o en las obras al agua de amasado, de un agente que, agregado en cantidades muy pequeñas, tiene la propiedad de producir burbujas de aire que rellenan los huecos uniformemente en toda la masa del hormigón.

El objeto de este artículo es dar a conocer las posibilidades de este material, presentando parte de las experiencias norteamericanas de laboratorio, que han hecho que su empleo se generalice en los Estados Unidos. Por otra parte, nuestro Laboratorio Central para Ensayo de Materiales de Construcción ha iniciado ya los trabajos, a fin de estudiar las posibilidades de empleo de este material en las obras españolas y de hallar el sustitutivo de fabricación nacional preciso para poder fabricar esta clase de hormigón, y aunque se tropieza con grandes dificultades para conseguir las cantidades precisas de productos norteamericanos para los ensayos, es de esperar que se lleven pronto a feliz término, en interés de nuestra técnica y de la economía en las obras.

Desde luego este material sólo se emplea hasta la fecha en Norteamérica. En Europa aun no está generalizado, si bien en Suiza e Inglaterra ya están los laboratorios dedicándose a su estudio.

El comienzo de las investigaciones norteamericanas sobre este nuevo hormigón "aireado" tuvo lugar como consecuencia de un problema que preocupa constantemente a los constructores de carre-

teras norteamericanos: la disgregación de los hormigones por la acción de las heladas y cambios bruscos de temperatura, así como la disminución de resistencia con la aplicación de cloruro cálcico o cloruro sódico, o a causa de áridos conteniendo estas sales.

Fueron, por lo tanto, los Laboratorios de "Public Roads", en diversos Estados norteamericanos, los primeros que hicieron investigaciones a este respecto, así como la "Portland Cement Ass." (la más importante entidad particular norteamericana dedicada a estudiar en sus laboratorios las mejoras e investigaciones en obras de hormigón y que está subvencionada por los fabricantes de cementos principalmente).

En los primeros años de la década 1930 a 1940, comenzó a investigarse y a hacerse pruebas en pavimentos con cementos, haciendo diferentes mezclas a fin de conseguir un hormigón más resistente a la acción de las heladas. En 1934, el "State Highway Dept.", del Estado de Kansas, observó que algunas probetas sacadas de obra, en pavimentos construidos con determinados cementos, tenían una resistencia más baja de lo normal, y que esto ocurría con hormigones que tenían un peso unitario menor que los demás. Se hicieron investigaciones y se vió que esto era debido a que existían determinadas sustancias como estearatos de cal y alúmina, grasas, carbón y resinas, que se empleaban como elementos auxiliares para el molido en la manufactura de los cementos, y que estas sustancias tenían la propiedad de producir aire dentro de la masa del hormigón.

Como, por otra parte, se observó que dichos hormigones eran más trabajables, se encauzaron las investigaciones a disminuir la cantidad de estas sustancias para obtener mejores resistencias comparables con las normales, con hormigones con mejor trabajabilidad y menor relación agua-cemento.

Más tarde, en el "State Highway Dept.", de

New York, trataron de conseguir una mejor resistencia a las heladas de los pavimentos, y sobre todo, impedir la disgregación producida por la aplicación de sales como cloruros cálcico y sódico, mezclados con cenizas o solos, a los pavimentos helados (para facilitar la circulación), y para ello mezclaron cementos naturales con Portland corriente, con una proporción del 15 por 100 de cemento natural y 85 por 100 de Portland. La experiencia en obra dió buenos resultados, y casi todos los Estados de New England adoptaron el procedimiento. Al tratar de explicarse las causas de esta mayor resistencia a la acción de las sales, hubo dos tendencias: unos, que lo achacaban a determinadas características peculiares de los cementos naturales; pero, por otra parte, como se observó que de los dos cementos naturales que se empleaban en las investigaciones, uno de ellos (el que daba mejores resultados) contenía una pequeña cantidad de sebo de buey, empleado como elemento auxiliar para el molido, muchos pensaron si no sería debido este mejor resultado a ese elemento auxiliar y si no se podían obtener los mismos resultados añadiendo el sebo a los cementos corrientes. Esta idea se fortaleció al observar que un cemento que prestaba un servicio excepcional en el Estado de New York, contenía pequeñas cantidades de aceite o grasa, que habían llegado al cemento por gotear los cojinetes de los molinos.

Entonces, hacia 1936, la "Portland Cement Ass.", en vista de la gravedad del problema, comenzó un estudio intensivo de los agentes productores de aire en el hormigón, estudiando el efecto producido por la introducción de pequeñas cantidades de substancias, tales como sebos, estearatos de aceite de pescado, resinas, etc., bien mezcladas con los cementos o bien añadidas en forma líquida en la hormigonera, haciendo estudios en laboratorio y en obra.

En los comienzos de 1938 se construyeron, por varios de los "State Highway Dept.", tramos experimentales de hormigón, así como por algunos Ayuntamientos y fabricantes de cemento, y los resultados fueron tan excelentes que quedó demostrado que el empleo de agentes productores de aire en el hormigón producía una mejor durabilidad.

Este es un pequeño resumen histórico del camino seguido por la técnica norteamericana, en lo que se refiere al hormigón aireado.

Durante un reciente viaje por los diversos Estados de Norteamérica, hemos visto aplicar esta clase de hormigón en diversas obras: en "Public Roads Administration de Washington D. C.", en carrete-

ras; en los Estados de California, Nevada, Oregón y Washington, en puentes, presas, casas de máquinas, turbinas, etc. En Utoh (Salt Lake City), en el acueducto para abastecimiento de aguas de la capital; en Chicago, los laboratorios de la "Portland Cement Ass." continuaban sus investigaciones, habiendo construido diversos aparatos para medir el contenido de aire en obra. En Denver (Colorado), el "Bureau of Reclamation", en sus laboratorios, también se dedicaba a diversos estudios a este respecto. Observamos allí que los dos agentes más empleados en todas partes son el "Vinsol Resin", fabricado por "Hercules Powder Co.", y el "Darex", de la casa "Dewy & Almy Co.", casas que, a su vez, han hecho diversas experiencias de la cantidad de disolución necesaria para la mezcla en hormigonera. La primera fabrica también cementos que ya tienen en su composición la cantidad precisa de "Vinsol Resin" para que produzca la cantidad de aire más conveniente.

Vamos a citar ahora, a modo de documentación bibliográfica, algunos de los ensayos más importantes llevados a cabo por diferentes laboratorios, definiendo aproximadamente los distintos productos nuevos que intervienen en esta nueva clase de hormigón y en qué consiste éste.

Así como el hormigón que empleamos corrientemente en construcción actualmente es una mezcla de cemento, arena, grava y agua, el nuevo hormigón "aireado" se podía definir como una mezcla de esos mismos ingredientes, y otro más: el aire.

En los hormigones corrientes se dosifican en diversas formas los elementos que intervienen en su formación, y de la misma manera aquí hay que dosificar cuidadosamente el aire, ya que de esta dosificación dependen las propiedades del nuevo material que le hacen tenerlas mejores que las del corriente.

Parece ser que, en el hormigón "aireado", una de las características principales es la formación, dentro de la masa de diminutas burbujas de aire que rellenan, durante el amasado, los huecos internos del hormigón, produciendo un efecto mecánico análogo al de un rodamiento de bolas, lo que hace, entre otras cosas, más trabajable al hormigón.

Existen dos tendencias en la producción de aire en el amasado: una de ellas consiste en añadir el agente productor de aire al cemento, en las fábricas, dosificándolo ya, durante el molido del *clinker*, y otro, el empleo de cementos Portland corrientes, añadiendo una solución del agente al agua de amasado en la hormigonera en obra. Los dos métodos tienen sus partidarios. Por una parte hay quien pre-

fiere el cemento ya preparado, pues alegan que eso facilita la puesta en obra por su mayor sencillez de aplicación, pero los partidarios de agregar el agente en forma de disolución al agua de amasado, dicen que, como es muy importante que la cantidad de aire producida en la mezcla se dosifique cuidadosamente, es preferible este método, ya que permite, mediante la determinación del contenido de aire, correcciones y mayor seguridad en las dosificaciones.

La realidad es que ambos procedimientos se emplean con éxito en diversas obras en los Estados Unidos.

En Norteamérica, los productos más populares empleados como agentes productores de aire son, como hemos dicho, el "Vinsol Resin" y el "Darex", y aparte de éstos, existen en el mercado otros productos como el "Puzzolith", etc. Pero todos ellos están patentados y sólo hemos podido saber de ellos su composición aproximada. Se sabe que el "Vinsol Resin" es una resina natural de madera, constituida esencialmente por la fracción insoluble de hidrocarburos de petróleo del extracto obtenido al tratar la madera de pino con hidrocarburos del alquitrán de hulla.

Este producto (que se vende en el comercio en forma de polvo) se empleó, al principio, neutralizado, disolviéndolo en una disolución de sosa, pero hoy, en vista del auge que ha tomado en la construcción, ya lo venden preparado y neutralizado, con la denominación "V R X", y basta añadirlo al agua de amasado, para lo cual existen aparatos dosificadores para obra.

El "Darex" es un subproducto de la destilación del petróleo, esencialmente una sal de trietanolamina de un hidrocarburo sulfonado.

Se presenta en el comercio en forma líquida concentrada, y también para este producto existen aparatos dosificadores en obra.

La "A. S. T. M.", en la tentativa de norma C-175-46 a T, acepta estos dos productos, y tanto uno como el otro, se emplean indistintamente en las obras, teniendo sus partidarios cada uno de ellos.

Otras muchas sustancias orgánicas o mezclas de ellas pueden servir como agentes productores de aire para el hormigón de cemento Portland, tales como resinas, aceites, jabones sulfonados, grasas, etcétera. En general, estas sustancias se comportan como agentes espumantes o pueden originar otras sustancias que lo sean por la acción del cemento durante el amasado. Como se sabe, los agentes espumantes son sustancias que provocan una

disminución de la tensión superficial del agua y favorecen, por lo tanto, la formación de espuma persistente. Las resinas, grasas, etc., insolubles en agua, no son agentes espumantes, pero debido a la reacción de saponificación que puede producirse por el medio básico de la masa del cemento, comunican al hormigón las propiedades de los agentes "aireantes". Estos materiales, por su insolubilidad, tendrán que ser mezclados al cemento durante su mollienda, o prepararlos en forma soluble en agua. Los que no son solubles en agua, del tipo de sales metálicas alcalinas, de los ácidos grasos o de los aceites sulfonados, son ya por sí mismos agentes espumantes y pueden incorporarse al cemento seco o añadirse durante el amasado.

De los agentes enumerados, muchos de ellos no tienen más acción que la espumante. Sin embargo, otros influyen en la hidratación del cemento, retardándola, y otros, como el "Puzzolith", los preparadores indican que, además, actúa como agente dispersante, evitándose la formación de grumos de cemento, sometiendo la totalidad de su superficie a la acción hidratante del agua, si bien la "P. R. A." (Public Roads Adm.) lo admite sólo como agente productor del aire.

La gran variedad de productos que se pueden utilizar para la producción de hormigón "aireado", queda puesta de manifiesto por la siguiente relación de los empleados por Charles E. Wurple, Ingeniero encargado del Laboratorio Central de hormigones del Cuerpo de Ingenieros del "U. S. Army", en sus trabajos de Laboratorio sobre este tipo de hormigones, publicados en 1946:

- 1.º Mezcla de aceite usado de transformador y trietanolamina.
- 2.º Resina de pino, insoluble en gasolina, neutralizada.
- 3.º Sebo de buey saponificado.
- 4.º Una mezcla de sal alcalina de un alcohol graso sulfonado y lignosulfonato cálcico.
- 5.º Una mezcla del producto 2.º con cloruro cálcico y polvo de aluminio.

Esto hace pensar en la posibilidad de aplicar en España los agentes "aireantes" del hormigón a base de materias primas nacionales o de subproductos procedentes de nuestra industria, y en este sentido van encauzados los trabajos que el Laboratorio Central para Ensayo de Materiales de Construcción ha emprendido, aunque para las laboriosas investigaciones que en este respecto son precisas, se tropieza con graves inconvenientes, ya que sería necesario una mayor facilidad para traer a España

algunos productos americanos, e incluso cementos ya preparados, a fin de aprovechar las investigaciones norteamericanas y poder estudiar con la menor pérdida de tiempo las posibilidades que existen en nuestra Patria.

de resultados obtenidos en dichos laboratorios y que se hicieron en combinación con 18 tramos experimentales de carreteras construídas empleando hormigón aireado. Las probetas ensayadas consistían en losas fabricadas en obra con hormigón to-

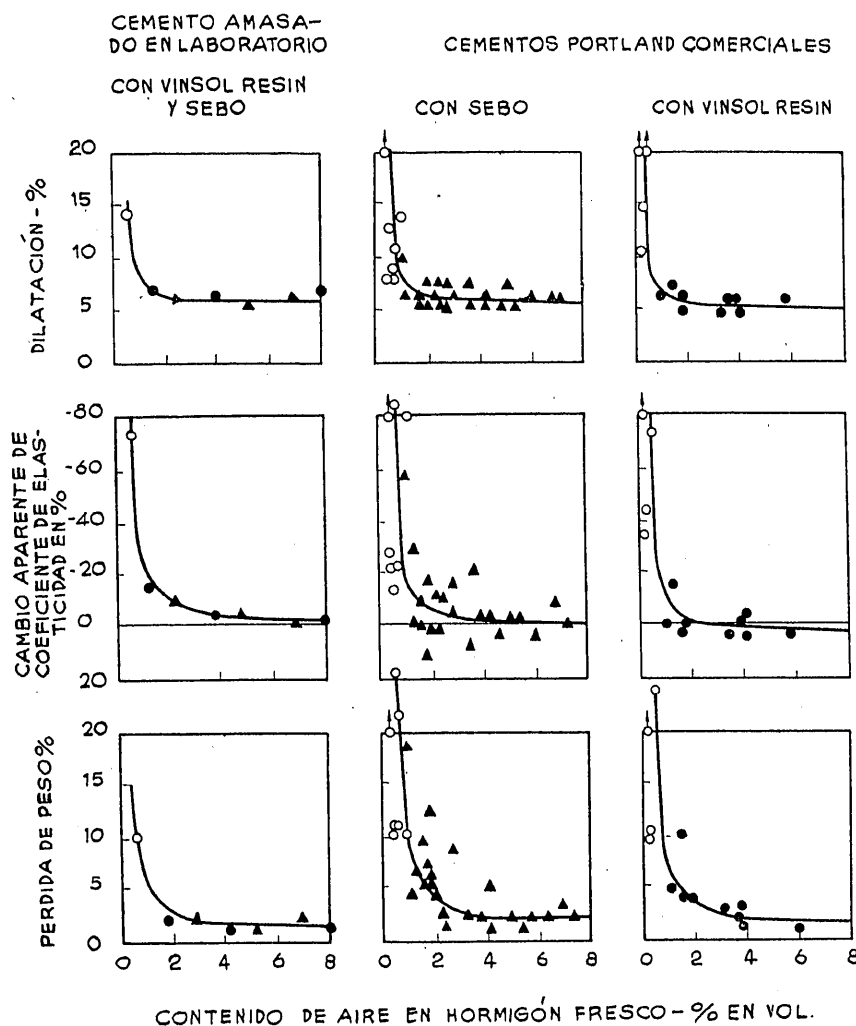


Fig. 1.ª — Los valores representados son para 225 ciclos de heladicidad (dos ciclos diarios).

- Hormigón hecho con cemento amasado, sin adición.
- ▲ Hormigón hecho con cementos amasados con sebo, empleados solos y mezclados con otros sin sebo.
- Hormigón hecho con cementos amasados con "Vinsol", empleados solos y mezclados con otros, sin "Vinsol".

Hormigón: contenido de cemento, 6,3 sacos por yarda (350 Kg./m.³). Asentamiento: 2 a 4 pulg. (5 a 10 cm.). Después de un día en los moldes, dos prismas curados en agua durante trece días, un mes en el aire del Laboratorio y de dos a cinco meses en recipientes de metal precintados. Después, los prismas se remojan en agua durante siete días y se hielan y deshuelan sumergidos en una solución al 10 por 100 de cloruro cálcico, durante 125 ciclos. Se somete a los prismas a otros 125 ciclos sumergidos en agua, a menos de que se suspenda antes de que hayan estado sometidos a un total de 250 ciclos.

Trabajos de investigación.

En 1944, Mr. H. F. Gonnerman, del Laboratorio de Ensayos de la "Portland Cement Ass." (P. C. A.), de Chicago, publicó una recopilación

mado de las hormigoneras, en otras sacadas de los mismos pavimentos, y muchos prismas fabricados en Laboratorio con los cementos empleados en las obras.

Los materiales que se usaron en las pruebas en

obra y en laboratorio como agentes aireantes, fueron principalmente:

1.º Resinas naturales, tales como resina de pino y "Vinsol".

2.º Grasas y aceites minerales y vegetales como

aceites de oliva y sebo y sus ácidos grasos, tales como ácidos esteárico y oleico.

3.º Un producto comercial denominado "li-gro", que consiste principalmente en ácidos oleico y de resina.

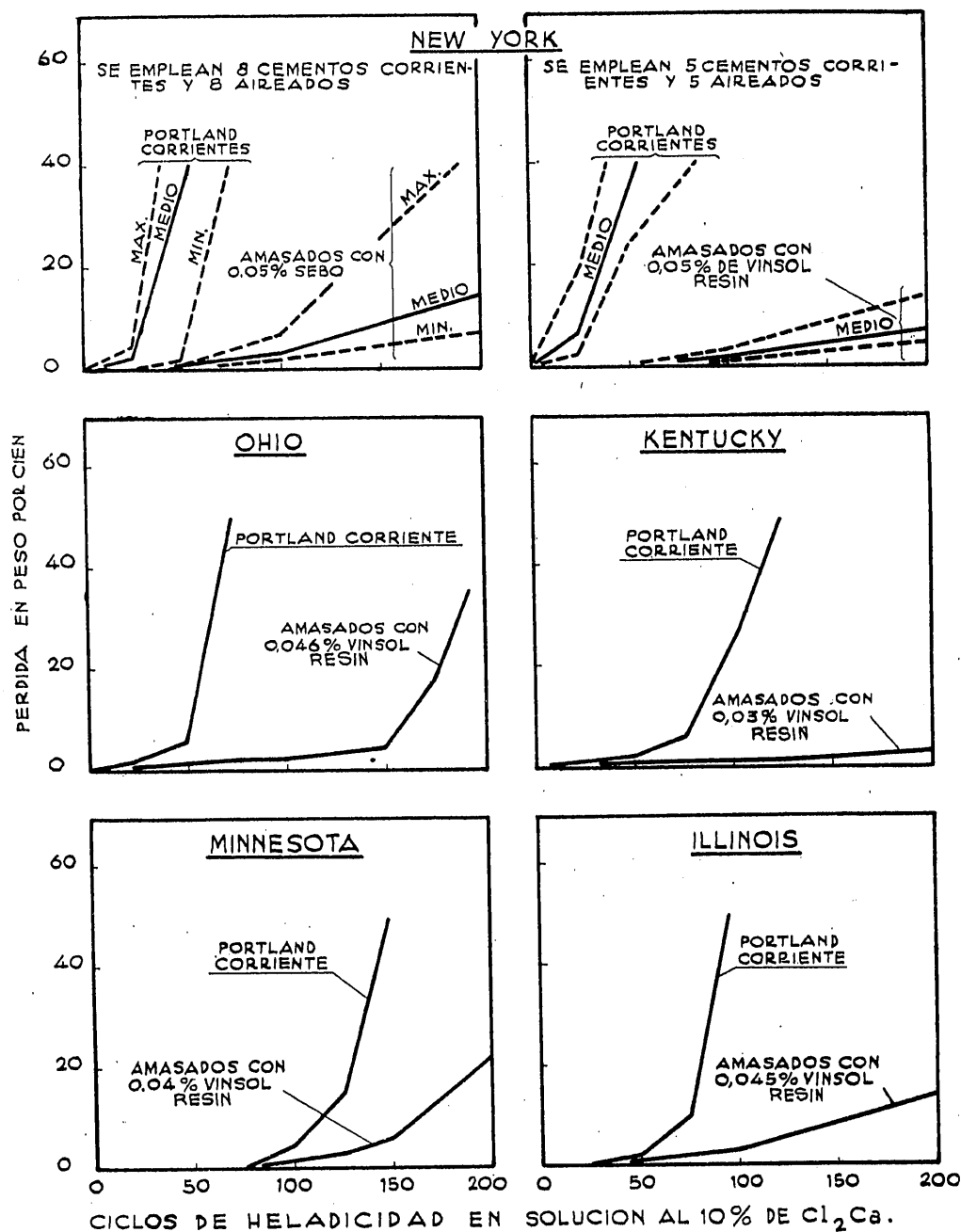


Fig. 2.ª — Resultado de los ensayos de heladicidad de probetas de hormigón, sacadas de seis tramos experimentales de carreteras. Contenido de cemento: unos 5 sacos por yarda, en el tramo de Minnesota (280 Kg./m.³). En otros tramos, 5³/₄ a 6¹/₂ sacos por yarda (307 a 362 Kg./m.³). Todas las probetas de 4⁵/₈ o 5¹/₂ pulg. ≈ (11,50 o 13,73 cm.), sumergidas en agua cuatro días antes de someter a la prueba de heladicidad. Edad al romperla, 1¹/₂ a 10 meses. Series J. 322, J. 323 y J. 350.

4.º Diversos agentes humidificantes, tales como sales alcalinas o sulfatos y compuestos orgánicos sulfonados.

5.º Jabones solubles en agua de ácidos de resinas y ácidos grasos vegetales y animales.

6.º Diversos materiales, tales como sales de sodio, de petróleo, ácidos sulfonados, etc.

mente a la conclusión de que la formación de huecos con aire bien distribuidos y aislados entre sí, en el hormigón, es la que produce el aumento de durabilidad y no el material en sí empleado como aireante. Esta conclusión se refuerza con los resultados del cuadro núm. 2.

En la figura 1.ª aparece una comparación de los

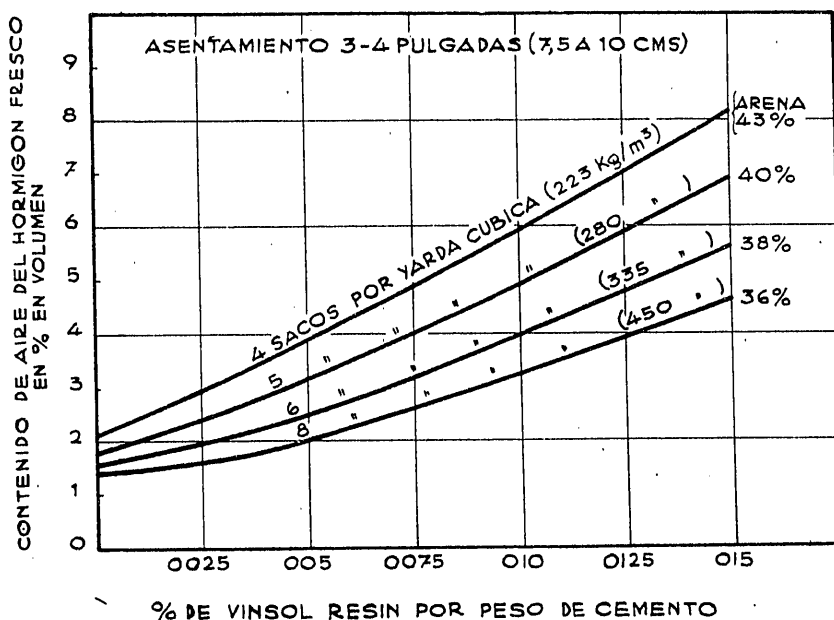


Fig. 3.ª — Efecto de la cantidad de "Vinsol Resin" en el contenido de aire de las mezclas de hormigón con contenido de cemento constante. "Vinsol Resin" agregado en hormigonera, en solución de NaOH y agua (una parte de "Vinsol", 0,5 partes de NaOH y 43 partes de agua en peso). Áridos: arena Elgin y grava calcificada de 0 a 1 pulgada (0 a 2,5 cm.). Un saco de cemento para 94 libras (42,6 Kg.).

Se observó que el "Vinsol" es poco efectivo como agente aireante agregado en polvo en la hormigonera, pero da excelentes resultados si se añade en una solución de sosa y agua.

Se estudiaron tramos experimentales de carretera en diez Estados diferentes, en los que existían severas condiciones de clima.

Los cuadros 1, a) y b), dan los resultados de los ensayos de heladicidad ("freezing and thawing").

Es evidente que, por las dilataciones lineales, variaciones del módulo de Young y pérdida de peso de las probetas durante el experimento, por cada uno de los cuatro métodos empleados para aumentar el contenido de aire se produce un hormigón muy superior en resistencia a los cambios de temperatura en aquellos que tienen agentes aireantes que en los que no los tienen. Estos resultados conducen clara-

resultados obtenidos con cementos corrientes, a los que se añade el agente aireante en el laboratorio y cementos ya preparados comercialmente.

En hormigones que contienen alrededor de un 3 por 100 de aire (un aumento de un 2 por 100 sobre los hormigones corrientes), se observa una resistencia a los cambios de temperatura, tan buena como en otros conteniendo mayor cantidad de aire. Un exceso de aire sobre el 5 por 100 se debe evitar porque, como se verá más adelante, va acompañado de una considerable disminución de resistencia mecánica, sin que esto se compense por un mejor comportamiento a los cambios de temperatura.

En determinaciones del módulo de elasticidad, hechas por el procedimiento sónico antes de las pruebas de cambio brusco de temperatura, se observa que existe una reducción de éste a medida que aumenta el contenido de aire. Esta reducción viene a

CUADRO NÚM. 1

Resultados de los ensayos de resistencia a las heladas, de hormigones, para diversos agentes aireantes.

(Pág. 432, «Journal A. C. I.», Junio 1944.)

a) Ensayos de prismas de hormigón de $2 \times 2 \times 9 \frac{1}{2}$ pulgadas ($5 \times 5 \times 23,75$ cm.).

Cemento. — Cementos Portland comerciales normales y aireados (ambos tipo I) de la misma fábrica.

Áridos. — Arena de "Cow Bay" y grava clasificada de 0 a $\frac{3}{4}$ pulg. (0 a 1,87 cm.).

Hormigón. — Contenido de cemento, 6 sacos por yarda cúbica (335 Kg./m.³).

Asentamiento, de 3 a 5 pulg. (7,5 a 12,5 cm.).

Prismas curados un día en ambiente húmedo, seis en agua y luego cuatro meses en el ambiente del laboratorio. Sumergidos en agua durante siete horas antes de someterlos a los cambios de temperatura. Ensayo de heladicidad, húmedo, a razón de un ciclo diario.

Los valores de contenido de aire se dan para hormigones endurecidos.

ADICIÓN — CLASE	% en peso de cemento	Con- tenido de aire %	CICLOS DE HELADICIDAD (ENSAYO HÚMEDO)							
			0	10	20	30	60	90	120	200
Expansión lineal durante el ensayo de heladicidad en %.										
Ninguna	0,0	1,2	0	0,071	0,219	0,316	Interrumpido a 30 ciclos			
H ₂ O ₂ añadida en hor- migonería	0,5	3,9	0	0,005	0,016	0,014	0,033	0,043	0,055	0,117
Agente humidificante "A", añadido en hor- migonería	0,01	4,1	0	0,016	0,012	0,014	0,018	0,030	0,042	0,064
"Vinsol Resin" mezcla- do con el cemento..	0,05	3,4	0	0,006	0,015	0,013	0,021	0,031	0,040	0,053
Módulo de Young (sónico) en libras por pulgada cuadrada × 10 ⁻⁶ .										
Ninguna	0,0	1,2	4,1	3,4	2,9	1,5	Interrumpido a 30 ciclos			
H ₂ O ₂ añadida en hor- migonería	0,5	3,9	4,0	4,3	4,4	4,6	4,6	4,0	3,8	2,9
Agente humidificante "A", añadido en hor- migonería	0,01	4,1	3,9	4,1	4,3	4,4	4,6	4,3	4,2	4,1
"Vinsol Resin" mezcla- do con el cemento..	0,05	3,4	4,0	4,4	4,5	4,6	4,6	4,5	4,2	4,2

(Cuadro núm. 1, conclusión.)

Pérdida en peso de prismas durante helada y deshielo, %.

ADICIÓN — CLASE	‰ en peso de cemento	Con- tenido de aire ‰	CICLOS DE HELADICIDAD (ENSAYO HÚMEDO)							
			0	10	20	30	60	90	120	200
Ninguna	0,0	1,2	0	0	0	0	Interrumpido a 30 ciclos			
H ₂ O ₂ añadida en hor- migonería	0,5	3,9	0	0	0	0	2	4	5	10
Agente humidificante "A", añadido en hor- migonería	0,01	4,1	0	0	0	0	2	3	4	7
"Vinsol Resin" mezcla- do con el cemento...	0,05	3,4	0	0	0	0	3	4	5	8

 b) Ensayos con prismas de hormigón de $3 \times 3 \times 11 \frac{1}{4}$ pulg. ($7,5 \times 7,5 \times 28,75$ cm.). Series J-345.

 Cemento. — Una mezcla de *clinker* de cemento Portland (Tipo I), de cuatro fábricas, molida en un pequeño molino de laboratorio con temperatura mantenida entre 210 y 220° F. (99 y 104° C.).

 Áridos. — Arena de "Cow Bay" y grava clasificada de 0 a $\frac{3}{4}$ pulg. (0 a 1,87 cm.).

 Hormigón. — Contenido de cemento, 6 sacos por yarda cúbica (335 Kg./m.³). Asentamiento aproximado, 4 pulgadas (10 cm.).

Prismas curados catorce días en cuarto húmedo, unos diecisiete días en ambiente del laboratorio y luego sumergidos en agua cuatro días antes del ensayo de heladicidad.

Prismas sometidos al ensayo de heladicidad húmedo, en 2 ciclos por día.

Adición mezclada con cemento % en peso	Contenido de aire en %	CICLOS DE HELADICIDAD (ENSAYO HÚMEDO)							
		0	25	50	75	100	150	200	300
Expansión lineal durante el ensayo de heladicidad en %.									
Ninguna	1,3	0	0,02	0,03	0,12	Interrumpido a 75 ciclos			
0,0066 % polvo alumi- nio	2,5	0	0,01	0,03	0,04	0,4	0,06	0,07	0,10
Módulo de Young (sónico) en libras por pulgada cuadrada $\times 10^{-6}$.									
Ninguna	1,3	5,2	4,4	5,2	3,3	Discontinua a 75 ciclos			
0,0066 % polvo alumi- nio	2,5	5,1	5,2	5,1	4,8	4,8	4,8	4,7	4,4
Pérdida en peso de prismas durante el ensayo de heladicidad, %.									
Ninguna	1,3	0	1	1	4	Discontinua a 75 ciclos			
0,0066 % polvo alumi- nio	2,5	0	0	0	0	.1	1	2	5

CUADRO NÚM. 2

Resultados de los ensayos combinados de heladicidad y permeabilidad en hormigones.

Series J - 318.

Cemento. — Mezcla en laboratorio de cuatro cementos Portland (Tipo I) en *clinker* molido, sin adición alguna y con 0,05 % de sebo ó 0,05 % de "Vinsol Resin" en peso.

Hormigón. — Mezcla de 1-2,4-3,4 en peso, excepto para Ref. núm. 16, que fué 1-2,55-3,7 en peso.

Áridos. — Arena de "Cow Bay" y grava clasificada de 0 a $\frac{3}{4}$ pulg. (1,87 cm.).

Los valores de permeabilidad y pérdida de peso son la media de ensayos verificados con tres discos, a menos que se indique lo contrario.

Los valores de contenido de aire son para hormigones recién mezclados.

Referencia número	ADICIÓN — CLASE	% en peso de cemento	DETALLES DEL HORMIGÓN				
			Contenido de cemento (Kg./m. ³)	Contenido de agua (1/100 Kg.) neto (l)	Asentamiento (cm.)	Peso (Kg./m. ³)	Contenido de aire %
4	Ninguna.	0,00	322	55,0	10,75	2 378	1,00
16	Ídem	0,00	300	55,8	8,72	2 380	1,30
5	Sebo	0,05	306	52,2	8,75	2 250	6,90
6	Ídem	0,05	312	49,6	5,75	2 295	5,50
7	«Vinsol Resin».	0,05	300	47,9	6,85	2 205	9,10

Referencia número	ENSAYO DE HELADICIDAD Y PERMEABILIDAD DE DISCOS DE HORMIGÓN DE 3×6 PULGADAS (7,5×15 CM.)											
	Merma en 1/m. ² durante 24 horas, bajo una presión de agua de 80 lb./pulg. ² (56,24 Kg./cm. ²) después de los siguientes ciclos de heladicidad en húmedo					% de pérdida en peso durante los siguientes ciclos de heladicidad en una solución al 10 por 100 de cloruro cálcico, seguido de 130 ciclos de heladicidad en húmedo						
	0	30	60	100	130	10	20	40	60	80	130	150
4	0,00	4,53	30,20	60,90	*	13,6	26,7	40,4	Interrumpido a 40 ciclos			
16	0,00	0,82	19,75	33,35	*	9,2	20,1	73,2	Ídem.			
5	0,00	0,00	0,00	0,00	*	0,1	0,1	0,2	0,5	0,9	3,7	6,7
6	0,00	0,00	0,00	0,00	*	0,0	0,0	0,2	0,6	0,7	4,3	7,3
7,17 (2)	0,00	0,00	0,00	0,00	*	0,1	+ 0,1	0,0	0,0	0,1	1,5	2,9

(1) Contenido de agua en litros, por 100 Kg. de cemento neto.

(2) Estos valores son la media de ensayos en seis discos.

(*) No se determinó la merma más allá de 100 ciclos de friabilidad (ensayo húmedo). Las pérdidas en peso, durante el ensayo de friabilidad en una solución al 10 por 100 de cloruro cálcico, se basan en el peso de las probetas después de 130 ciclos en húmedo.

ser alrededor de un 3 por 100 por cada aumento de 1 por 100 de contenido de aire en hormigones frescos.

La figura 2.^a reproduce los resultados de prue-

El "Vinsol" se vende, comercialmente, en polvo, que nos da unos resultados muy buenos mezclado directamente, por su poca solubilidad; sin embargo, disuelto en sosa resulta muy eficaz.

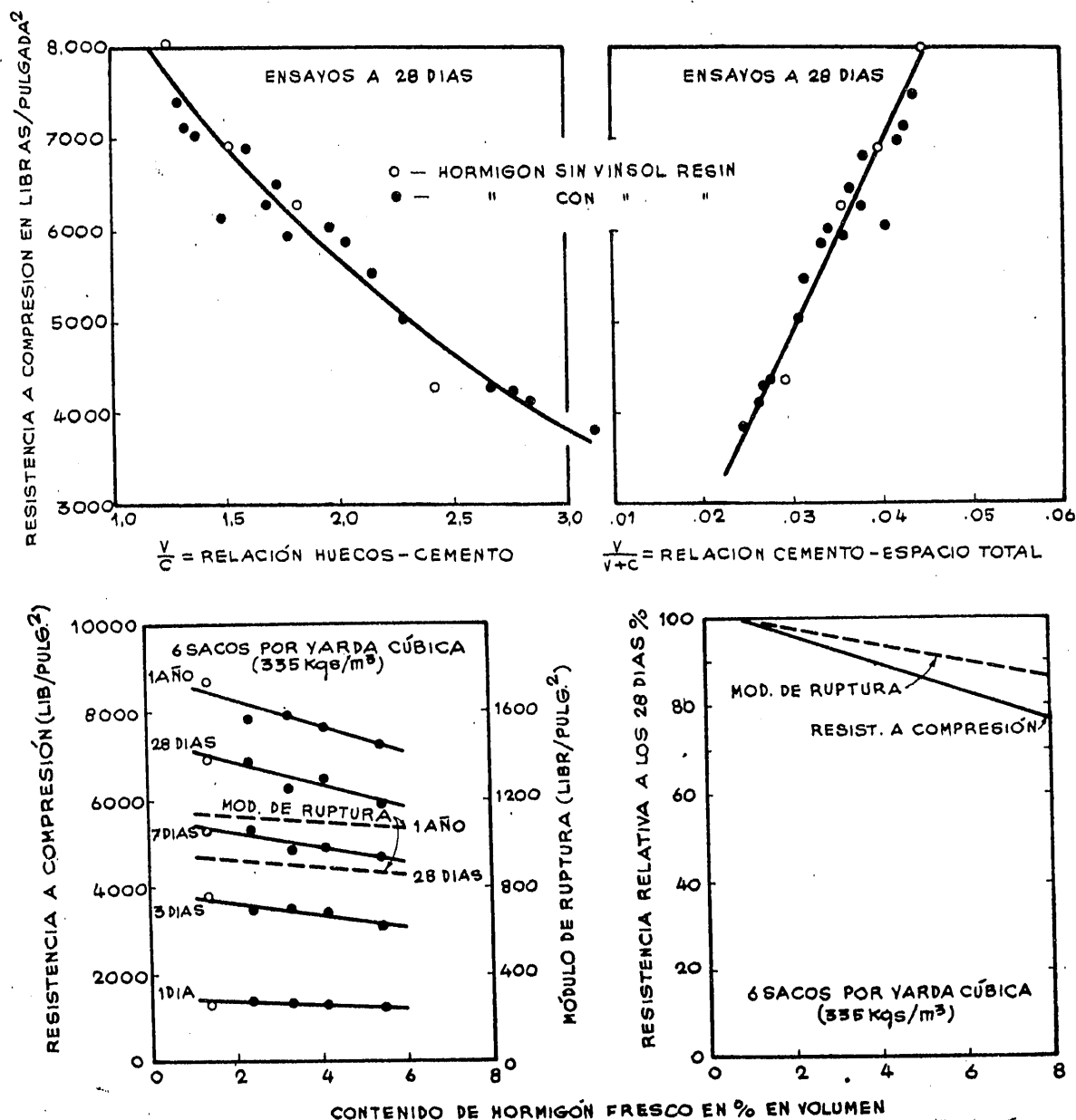


Figura 4.^a

bas con probetas sacadas de diversos tramos experimentales.

En vista de que durante los ensayos se obtuvieron excelentes resultados con el "Vinsol", se hicieron estudios más extensos de la mezcla en una solución de NaOH.

Se observó que 0,01 por 100 de este producto (en peso del cemento), añadido en forma de solución en la hormigonera, produce el mismo aire en la mezcla que 0,05 por 100 molido con el *clinker*. Las figuras 3.^a y 4.^a representan los resultados de ensayos de hormigones en los que se varía la canti-

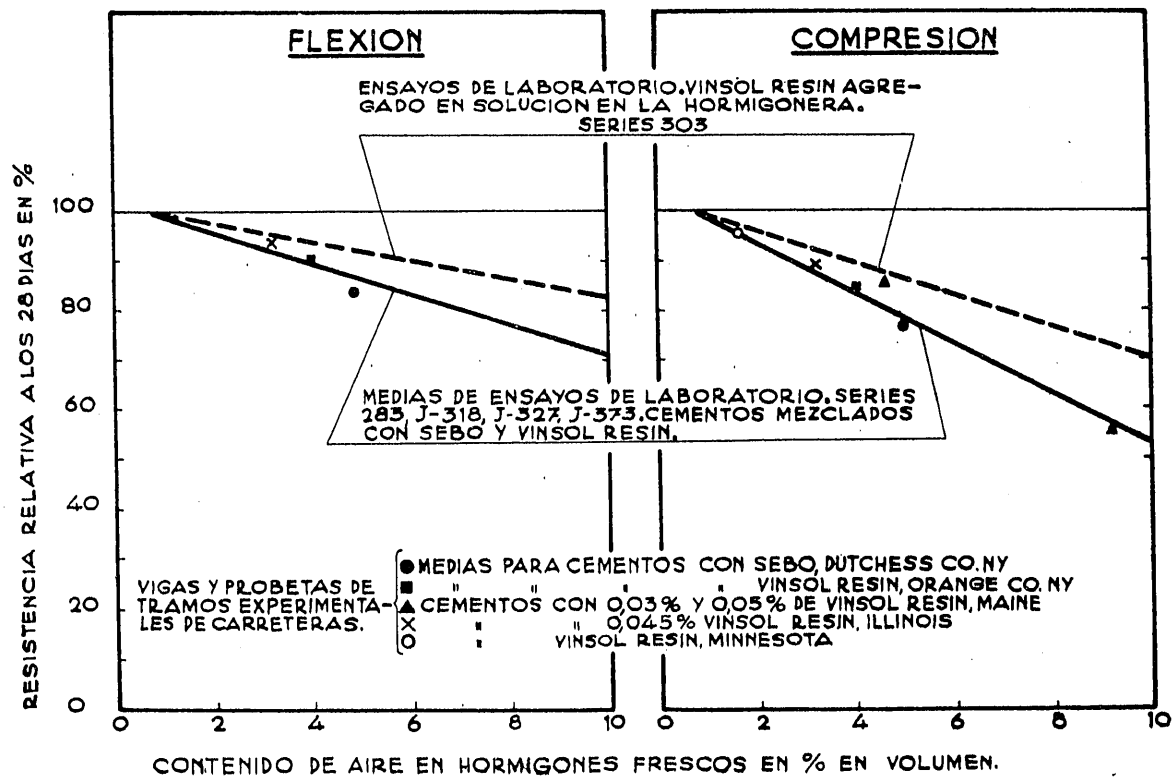


Fig. 5. — Efecto del contenido de aire en la resistencia del hormigón.

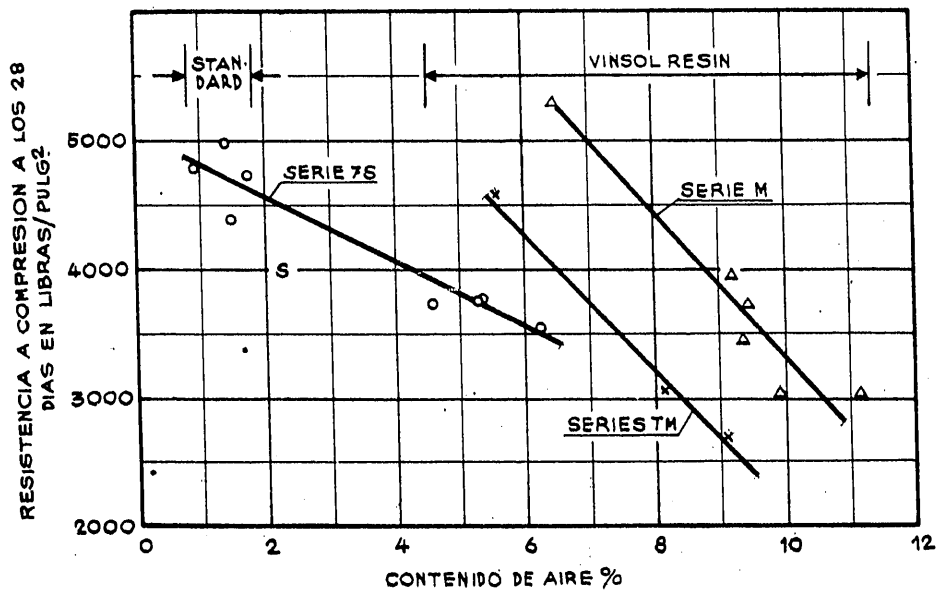


Fig. 6. — Relación entre el contenido de aire y resistencias para diversos hormigones, 1 libra por pulgada cuadrada equivale a 0,0703 Kg./cm.².

CUADRO NÚM. 3

Ensayos de hormigones conteniendo «Vinsol Resin» en solución acuosa de NaOH añadida en hormigonera.

Series 303.

Mezclas proyectadas para tener un contenido de cemento, de 4, 5, 6 y 8 sacos por yarda cúbica (223, 279, 335 y 446 Kg./m.³):

Cemento. — Lote 16 436; mezcla de laboratorio, formada por partes iguales de cuatro clases de cementos Portland comerciales (todos del tipo I).

Áridos. — Arena de "Elgin", clasificada entre los tamices 0 y 4, y grava "Elgin", clasificada de la forma siguiente: 25 % de 4 a 3/8 pulg. (10 a 0,95 cm.); 50 % de 3/8 a 3/4 pulg. (0,95 a 1,90 cm.), y 25 % de 3/4 a 1 pulg. (1,90 a 2,54 cm.).

El "Vinsol Resin" se agregó en hormigonera en una solución formada por una parte de "Vinsol Resin", 0,5 partes de NaOH y 43 partes de agua, en peso.

Todas las probetas se mantuvieron en los moldes un día y luego en el cuarto húmedo, hasta el ensayo.

La relación agua : cemento es el agua total, menos la absorción del árido en diez minutos. Excepto cuando se indique lo contrario, el valor del contenido de aire es la media de seis ensayos, y cada valor de resistencias es la media de tres a seis ensayos.

Referencia número	«Vinsol Re- sin» (% en peso de cemento)	HORMIGÓN FRESCO					RESISTENCIA A COMPRESIÓN KG./CM. ²							
		Agua — Cemen- to (1/100 Kg.)	Conte- nido de ce- mento (Kg./m. ³)	Asenta- miento (cm.)	Peso unitario (Kg./m. ³)	Conte- nido de aire (%)	Cubos modificados de 7,5 centímetros		CILINDROS DE HORMIGÓN DE 15 × 30 CENTÍMETROS					
							28 días	1 año	1 día	3 días	7 días	28 días	3 meses	1 año
Asentamiento nominal, 3 a 4 pulg. (7,5 a 10 cm.).														
101	0	36,2	445	7,86	2 440	1,3	650	689	140	319	444	565	586	661
102	0,005	36,0	446	7,62	2 419	2,0	609	665	140	315	418	523	596	652
103	0,0075	35,9	446	7,86	2 400	4,6	616	644	135	301	406	503	572	624
104	0,010	35,7	446	7,86	2 390	3,2	575	642	131	301	368	496	* 566	635
105	0,015	35,7	444	7,86	2 350	4,6	518	591	119	278	353	* 428	523	589
106	0	43,4	334	7,11	2 440	1,4	601	651	90	262	372	489	536	616
107	0,005	42,4	336	6,85	2 419	2,4	550	590	98	244	374	485	531	559
108	0,0075	41,9	336	6,85	2 399	3,3	560	574	94	246	338	442	* 527	558
109	0,010	41,5	337	6,60	2 380	4,1	540	569	91	238	344	* 457	467	* 540
110	0,015	40,4	339	6,35	2 350	5,4	481	511	61	224	330	419	* 451	511
111	0	50,7	280	6,85	2 430	1,7	506	548	61	189	316	442	* 474	517
112	0,005	49,6	279	6,85	2 399	3,1	471	512	63	190	304	425	483	595
113	0,0075	48,9	279	7,62	2 378	4,0	471	496	61	191	298	414	449	595
114	0,010	48,4	278	8,13	2 368	5,0	445	465	58	180	285	392	437	459
115	0,015	47,0	277	8,13	2 318	6,8	412	441	55	146	258	354	391	421
116	0	66,6	221	5,84	2 400	2,0	361	367	29	114	187	* 305	357	369
117	0,005	65,1	220	9,65	2 360	3,9	344	372	29	117	186	304	346	* 352
118	0,0075	64,2	220	11,19	2 338	4,8	329	359	29	113	188	300	342	344
119	0,010	60,5	222	8,89	2 319	6,0	326	345	32	114	190	291	327	347
120	0,015	56,8	223	8,64	2 280	8,0	299	326	31	108	172	270	308	319

(*) Media de dos ensayos.

dad de aire con adición, en la hormigonera, de diversas cantidades de "Vinsol".

En el cuadro núm. 3 aparece un resumen de los ensayos verificados con "Vinsol Resin".

En la figura 4.^a aparecen cuatro diagramas basados en los ensayos de la tabla 3. En los dos inferiores se muestra la relación entre el contenido de aire del hormigón y la resistencia a compresión y módulo de ruptura de probetas curadas en ambiente húmedo.

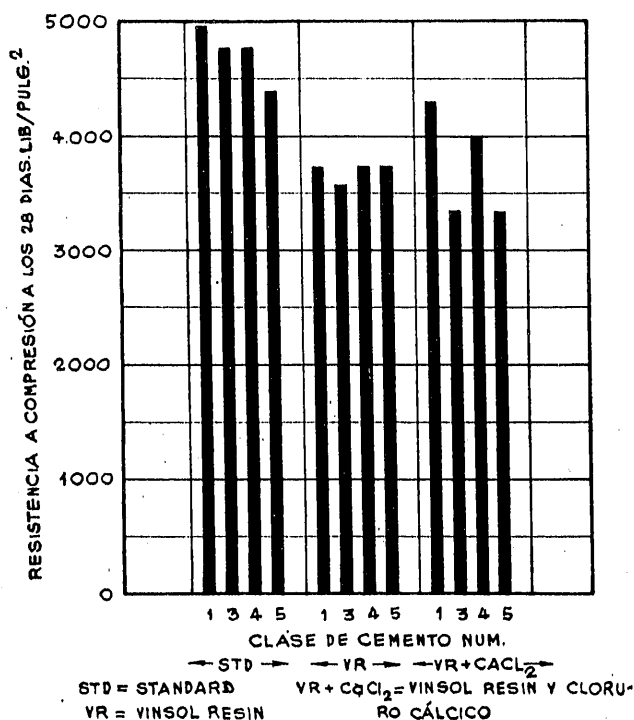


Fig. 7.^a — Resistencia a compresión de hormigones hechos con diversos cementos (75 series) mezclados en instalación central de hormigonado y agitados con dosificación de 6 sacos/yarda³ (335 Kg./m.³). 1 libra/pulg.² equivale a 0,073 Kg./cm.².

En los dos superiores, C , se representa el volumen absoluto de cemento por unidad de volumen de hormigón, y V , los huecos totales en una unidad de volumen de hormigones; es decir, el volumen absoluto de los huecos de aire, más el volumen absoluto del agua. Si los huecos de aire son pocos y relativamente constantes, como en el caso de mezclas de consistencia plástica sin agentes aireantes, la relación $\frac{V}{C}$ es equivalente a la relación agua : cemento en volumen absoluto. Se observa de la relación entre $\frac{V}{C}$ y resistencias, que a mayores valores de V para

un determinado C , las resistencias disminuyen. Igual ocurre con la relación $\frac{C}{V+C}$.

Esto indica que, si es preciso mantener las resistencias, cuando se emplean agentes aireantes es necesario compensar el aumento de V por aumentar el aire, aumentando el volumen de cemento o reduciendo el volumen de agua, o bien las dos cosas simultáneamente.

Aunque el empleo de aireantes permite alguna reducción en la cantidad de agua precisa para un asentamiento dado, a menos que se reduzca también el porcentaje de arena en la mezcla, la reducción de agua puede no ser suficiente para mantener la resistencia y habrá que aumentar algo el contenido de cemento. Por tanto, la reducción de porcentaje de arena en la mezcla será una gran ayuda para mantener las resistencias por su efecto de rebajar la cantidad de agua precisa en la misma.

El diagrama de la derecha de la figura 4.^a indica que existe un 2 por 100 de disminución del módulo de ruptura y un 3 por 100 en resistencia a compresión por cada 1 por 100 de aumento del contenido de aire.

La figura 5.^a indica el efecto del contenido de aire en las resistencias del hormigón.

Las conclusiones que deduce Mr. Gonnerman de los resultados obtenidos con los hormigones aireados, bien por medio de agentes añadidos en la hormigonera o bien mezclados con los cementos, son que mejoran grandemente las resistencias del hormigón a los efectos de las heladas. Los resultados en tramos experimentales concuerdan con los obtenidos en Laboratorio.

Análogos ensayos se hicieron por diversas instituciones y Laboratorios, y también en 1944, mister Frank H. Jackson, de "Public Roads Administration de Washington D. C.", publica un artículo en el que plantea diversas cuestiones, llegando a las mismas conclusiones antes mencionadas, terminando por admitir:

"... Sin embargo, es cierto que si los huecos rellenos de aire son muy importantes, es obvio que los mejores resultados, en cualquier obra, se asegurarán controlando la cantidad de aire que se puede introducir en el hormigón destinado a ella."

Mr. Henry L. Kennedy, de la "Dewey & Almy Co.", indica que, de las investigaciones llevadas a cabo en sus laboratorios con dos tipos de agentes aireantes (materiales resinosos y materiales sulfonados, en los que incluye alcoholes e hidrocarburos sulfonados), se deducen las conclusiones siguientes:

(Continuará.)