

INFLUENCIA DEL FENOMENO DE FALSO FRAGUADO
DEL CEMENTO PORTLAND EN HORMIGONES
UTILIZADOS EN OBRAS VIALES

Ing. José F. Colina

Ing. Marcelo Wainsztein

Ing. Oscar R. Batic

SERIE II, Nº 213

EL FALSO FRAGUADO

El fenómeno de falso fraguado es conocido desde hace varios años y ha sido objeto de estudios por parte de diversos investigadores, entre otros, L'Hopitalier, Hansen, Blondieau, Guilliland.

A pesar de ser el causante de problemas importantes durante el manipuleo del hormigón fresco, no ha sido difundido ampliamente y es ignorado por muchos directores de obra.

Esto se ve agravado en las obras en que se usan bajas razones agua-cemento, como las de pavimentación y donde generalmente los tiempos de mezclado son cortos, el hormigón es transportado sin agitarse y debe permanecer acumulado hasta su colocación.

Un hormigón preparado con cemento portland que presente falso fraguado disminuirá su consistencia durante las operaciones previas a su ubicación en los encofrados, aumentando por esta causa el tiempo de hormigonado e incrementando por consiguiente, los costos de mano de obra por colocación y terminación y además al dificultar el llenado de los moldes, se debe temer el peligro de obtener estructuras débiles por causas de vacíos motivados por las dificultades en la compactación.

Si con el objeto de obviar este problema en vez de efectuar un mezclado extra o adicionar un correctivo a la mezcla, se agrega agua al pastón sin aumentar el contenido unitario de cemento, la resistencia y durabilidad disminuirán al aumentar la razón agua-cemento y aún conservando constante dicha razón, al aumentar el contenido unitario de agua, se incrementarán las contracciones por secado, con su secuela de fisuras y grietas, disminuyendo además la resistencia a la congelación y al deshielo.

Se debe diferenciar el falso fraguado del fragüe instantáneo (1). Este último se debe al aluminato tricálcico (AC₃) ya que los estudios han demostrado que una pasta de

aluminato tricálcico y agua libera calor en forma rápida y endurece dando una masa no trabajable en pocos minutos.

El fraguado instantáneo se manifiesta en consecuencia por un rápido incremento en la temperatura de la pasta de cemento y por una pronunciada reducción de su trabajabilidad enseguida del mezclado.

En cambio, en el fenómeno de falso fraguado no hay elevación de temperatura de la pasta de cemento pero sí, una pronunciada reducción de la trabajabilidad en un período corto luego del mezclado, que normalmente puede ser reestablecida por un pequeño remezclado.

La causa más importante del falso fraguado, puesta de manifiesto por las investigaciones realizadas hasta el presente, es la cristalización del yeso ya que durante la molienda del cemento se eleva la temperatura formándose hemihidrato que al ser mezclado con agua genera el endurecimiento.

El falso fraguado debe ser tenido especialmente en cuenta en las obras viales donde se utilizan hormigones de muy poca fluidez, es decir, con bajos asentamientos medidos con el tronco de cono.

En estos casos, el efecto es notable mientras que, cuando se utilizan hormigones más fluidos, con mayores asentamientos, este fenómeno puede pasar desapercibido.

CAUSAS DEL FALSO FRAGUADO

La hipótesis más difundida y con mayor aceptación con respecto a las causas de este problema es la de atribuirlo a la deshidratación de la piedra de yeso que se incorpora al clinker de cemento portland con el fin de regular su velocidad de fraguado.

Es sabido que en la molienda del clinker una considerable parte de la energía empleada, se disipa en forma de calor, y esa disipación se incrementa por los pequeños cuer-

pos moledores, llegando en ciertas ocasiones, la temperatura de los molinos hasta 150°C.

La piedra de yeso en esas condiciones se deshidrata y pasa al estado hemihidrato de calcio que presenta una gran avidez por el agua en sus formas alfa y beta.

En épocas de gran demanda de ligantes, los fabricantes de cemento se ven obligados a utilizar el clinker antes de que se enfríe suficientemente al no poder almacenarlo por un período adecuado, en esos casos la situación se ve agravada, como ha ocurrido en la República Argentina durante los años 1969 y 1970.

Otra hipótesis complementaria está basada en que pueden formarse pequeñas cantidades de carbonatos alcalinos capaces de producir este fenómeno.

Durante el estacionamiento se pueden carbonatar los álcalis del cemento y el carbonato alcalino resultante reacciona con el hidróxido de calcio liberado por la hidrólisis del silicato tricálcico, formando carbonato de calcio que precipita e induce a la rigidez de la pasta.

Cuando el cemento a granel está almacenado en forma inadecuada, expuesto al aire, puede ocurrir que anteriormente el cemento no presente esa tendencia y aparezca luego de esa exposición. En este caso lo que ocurre es que la aireación tiende a disminuir la velocidad de reacción del aluminato tricálcico en la primera etapa del proceso de fraguado y entonces no reacciona con el sulfato de calcio, por lo tanto el yeso, originariamente deshidratado parcial o totalmente en la pasta líquida tiende a cristalizar restándole plasticidad.

Otra situación similar se produce por la activación del silicato tricálcico (SC_3) por aireación y alta humedad relativa, como ha sido puesto de manifiesto por varios autores. El agua es absorbida por los granos de cemento y en contacto con esas superficies activadas, se combina más rápidamente durante el mezclado, esta rápida hidratación reduce la cantidad de agua disponible para fluidificar la

mezcla.

En algunos casos particulares cuando los cementos tienen en su composición un alto tenor de potasio se observa que se precipita una sal doble fuertemente hidratada (sulfato de calcio-sulfato de potasio-n de agua) y con mediana estabilidad, de modo que al comienzo del mezclado produce una sustracción del agua y permite por algunos momentos la hidratación de parte del aluminato tricálcico que ya hemos dicho anteriormente es rápida. Cuando la cantidad de óxido de aluminio (Al_2O_3) disuelto sea tal que modifique las condiciones de equilibrio, es decir que las condiciones físico-químicas del conjunto agua-cemento permiten que esa doble sal intervenga descomponiéndose, se entra en la etapa de fraguado normal.

También se observa que al aumentar el contenido de óxido de potasio soluble es mayor la cantidad de agua para obtener la pasta normal.

METODOS DE ENSAYO

Los ensayos de laboratorio permiten asegurar que el cemento portland está libre de ese fenómeno pero es necesario recalcar que debe especificarse solamente esta necesidad para aquellas obras de hormigón en que la pérdida prematura de plasticidad pueda crear problemas.

La Sociedad Americana de Ensayo de Materiales (A.S.T.M.) ha estudiado dos métodos de ensayos ASTM C-359-67-T, Método del mortero y ASTM-C-451-68, Método de la pasta.

Ambos métodos son muy sencillos de realizar con los elementos de laboratorio que se tienen normalmente y aún pueden realizarse en obra, controlando de esta forma cada partida recibida.

Algunas fábricas se han preocupado sobre este tema estudiando métodos propios como es el caso de "The Sentab Pressure Pipe Consortium" que tiene un método manual muy sencillo en que tiene gran influencia el operador. A su vez debido al corto tiempo de mezclado se rechazan cementos

con leve tendencia al falso fraguado, lo que en el caso del método A.S.T.M. no ocurre.

Las normas A.S.T.M. especifican en la parte de interpretación de resultados lo siguiente:

a) El falso fraguado en un cemento puede causar dificultades desde el punto de vista de la colocación y operaciones con el hormigón. Esto no se observa tanto cuando el hormigón es mezclado por un tiempo mayor que el usual, tal como ocurre cuando es preparado en planta y transportado en camiones agitadores o cuando es remezclado antes del transporte y colocación como es el caso del hormigón bombeado. Estos métodos son para tener en cuenta cuando el hormigón es mezclado por corto período de tiempo, por ejemplo en mezcladoras situadas en el lugar y transportado a los encofrados en equipos no agitadores como se hace en la mayoría de las obras de pavimentos.

b) El falso fraguado por sí, no tiene efectos deletéreos sobre la calidad del hormigón pero cuando se emplean cementos que tienen un falso fraguado notable usualmente requieren mayor cantidad de agua de mezclado para producir la misma consistencia con lo cual deben esperarse resistencias menores e incrementos de la contracción por secado.

La norma ASTM C-150 Especificación para cemento portland, establece para todos los tipos de cementos como requisito opcional el 50 % de penetración inicial como mínimo para el ensayo con el método de la pasta. No se ha encontrado ninguna especificación relacionada con el método del mortero.

FORMAS DE PREVENIRLO

Los problemas del falso fraguado pueden ser prevenidos o bien durante la fabricación del ligante adoptando previsiones para que no se produzcan o bien, si el cemento tiene esta característica, adoptando en obra métodos de trabajo que lo conjuren.

En cuanto al proceso de fabricación del cemento podemos decir que la deshidratación de la piedra de yeso podría ser

reducida al mínimo, no permitiendo la entrada al molino del clinker con elevada temperatura, refrigerando el molino durante la molienda y agregando pequeñas cantidades de agua en la alimentación. Como antecedentes podemos citar que F. Barona evitó el falso fraguado de los cementos mexicanos mediante la refrigeración de los molinos. Otros autores especialistas en el tema, aconsejan disminuir la posibilidad de que se produzca este hecho recurriendo al reemplazo parcial de la piedra de yeso por anhídrita soluble. Los porcentajes más satisfactorios estudiados son del 25 % de piedra de yeso y 75 % de anhídrita soluble en peso.

Esto último no es contemplado por las normas de algunos países, por ejemplo España, donde en la definición de cemento portland se especifica solo el uso de piedra de yeso ($\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$).

En obra este fenómeno debe ser prevenido. En los cementos que no lo tienen, almacenándolos adecuadamente, es decir, evitando el contacto con el aire o con la humedad. En los que lo poseen se debe arbitrar medidas para disminuir sus efectos por ejemplo aumentando la duración del mezclado o haciendo un remezclado. Esto último que es de práctica común en el mezclado de laboratorio no es fácil de materializar en obra.

Lo importante es que en la obra cuando se produzca este hecho no se debe agregar mayor cantidad de agua pues ello redundaría en un perjuicio evidente para la calidad del hormigón.

EXPERIENCIAS REALIZADAS

A las muestras recibidas en el LEMIT (Laboratorio de Ensayo de Materiales e Investigaciones Tecnológicas) durante un período de dos años se les practicó los dos ensayos normalizados por ASTM. Para poder comparar los resultados, las muestras se clasificaron por marcas y solo se utilizaron aquellas recibidas en envases originales cerrados de fábrica.

Las muestras en su mayoría corresponden a fábricas argentinas pero también se ensayaron cementos portland importados, de origen latinoamericano y europeo.

Los resultados de los ensayos se informan en la tabla I donde además se consigna el contenido de anhídrido sulfúrico (SO_3), el de álcalis expresado en óxido de sodio (Na_2O) y la composición calculada del aluminato tricálcico (AC_3) y del silicato tricálcico (SC_3).

Para verificar el efecto de la aereación del cemento portland, algunas muestras de los que no tenían falso fraguado se expusieron al aire en ambiente de laboratorio a temperatura de $20 \pm 2^\circ C$ y humedad relativa del $50 \pm 5\%$ y otras se mantuvieron en el mismo ambiente en envases cerrados de polietileno. Los valores obtenidos se informan en la tabla II.

Se observa en el citado cuadro, a pesar de ser pocas las muestras ensayadas, que el estacionamiento en envase hermético no altera el comportamiento del cemento. En cambio cuando la exposición es al aire, la variación depende de la composición del cemento, ya que en algunos casos aumenta el falso fraguado y en otros no se encuentran diferencias notables hecho que coincide con lo expresado en la bibliografía.

Con el cemento marca N° 13 (tabla II) se realizaron ensayos sobre hormigones en estado fresco, observándose que a igualdad de proporciones de los componentes y tiempo de mezclado, el elaborado con cemento normal arrojó un asentamiento de 4,0 cm y otro empleando el mismo cemento aereado durante 8 días en ambiente de laboratorio dio un asentamiento de 2,3 cm., es decir, en ese caso particular la disminución de consistencia del hormigón fue del 42 %.

OBSERVACIONES FINALES

1. El conjunto de resultados informados en la tabla I muestra que el problema del falso fraguado solo ha sido solucionado por algunas fábricas. La gran mayoría de ellas producen cementos que presentan siempre o periódicamente

falso fraguado.

2. Existe aceptable correlación de resultados entre ambos métodos ASTM.

3. Cuando en obra sea necesario utilizar cemento portland libre de falso fraguado se recomienda realizar ensayos de contralor sobre las diversas partidas. El equipo requerido para este proyecto es de fácil montaje y económico.

4. Cuando sea necesario corregir en obra cementos portland con falso fraguado, se deberán tomar las siguientes precauciones, aumentar el tiempo de mezclado o si es posible dejar que se produzca el falso fraguado y remezclar al hormigón.

BIBLIOGRAFIA

1. False set in portland cement. Journal American Concrete Institute, 22 (1951).
2. Aereation cause of false set in portland cement. Proceedings ASTM, 58 (1958).
3. Neville, A. M.- Properties of concrete. 1963.
4. Gilliland, J. L.- Significance of false set test. Proceedings ASTM, 63 (1963).
5. Sawyer, J. L.- Control of false set by the use of anhydrite and gypsum blends. Proceedings ASTM, 63 (1963).
6. Durán, A. M. y M. Puig Cardona.- Influencia de la presencia del sulfato de calcio sobre el fraguado del cemento. Monografía nº 220. Instituto E. Torroja, España, 1962.
7. Wainsztein, M.- Estudio y experiencias sobre el fenómeno de falso fragüe. Publicación Facultad de Ingeniería, UNLP, serie III, nº 248 (1969).
8. Fessia, S. D.- Influencia del óxido de potasio en el fraguado falso del cemento portland. 1er. Simposio sobre ligantes hidráulicos de producción nacional y sus apli-

caciones. LEMIT, 1966.

9. Wainsztein, M., O. R. Batic y J. D. Sota.- Experiencias sobre falso fragüe de los cementos portland extranjeros utilizados en el país durante el año 1969. 3er. Simposio sobre aglomerantes hidráulicos y sus aplicaciones, 1970. LEMIT, 2-1971, 21-36.
10. Norma ASTM C-150-68. Falso fragüe del cemento portland (método de la pasta).
11. Norma ASTM C-359-67 T. Falso fragüe del cemento portland (método del mortero).
12. Norma ASTM C-451-68. Falso fragüe del cemento portland (método de la pasta).

TABLA I

RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS ENSAYOS REALIZADOS DE FALSO FRAGUADO SOBRE MUESTRAS DE CEMENTO PORTLAND

| MARCA | PROCEDENCIA | Norma ASTM C-539-61 T | | | | | Norma ASTM C-451-62 T | | | SO ₃ % | Alcalis en Na ₂ O % | AC ₃ Calc. % | SC ₃ Calc. % | |
|-------|----------------|-----------------------|-----|-----|------|--------|-----------------------|-------|----------|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|------|
| | | Penetraciones (mm) | | | | | Penetraciones (mm) | | | | | | | |
| | | Inic. | 5 m | 8 m | 11 m | Remez. | Inic. | Final | % Remez. | | | | | |
| 1 | Rca. Argentina | 50 | 50 | 49 | 45 | 50 | 31 | 12 | 38 | 17 | 1,6 | 0,68 | 6,0 | 51,7 |
| 1 | " | 50 | 9 | 5 | 5 | 50 | 35 | 25 | 71 | 35 | 1,9 | 0,71 | 4,3 | 60,6 |
| 1 | " | 50 | 22 | 15 | 0 | 50+ | 35 | 20 | 57 | 35 | 2,1 | 0,69 | 5,4 | 57,3 |
| 1 | " | 50+ | 50 | 50 | 49 | 50+ | 38 | 33 | 86 | 40 | 2,3 | 0,80 | 7,2 | 55,7 |
| 1 | " | 50 | 26 | 24 | 10 | 50+ | 31 | 19 | 61 | 36 | 1,7 | 0,64 | 6,9 | 47,5 |
| 1 | " | 50 | 45 | 36 | 30 | 50+ | 38 | 23 | 60 | 40 | 2,3 | 0,92 | 6,6 | 51,0 |
| 1 | " | 50 | 8 | 1 | 0 | 50+ | 36 | 27 | 75 | 36 | 2,6 | 0,66 | 6,2 | 44,4 |
| 1 | " | 50 | 32 | 7 | 0 | 50+ | 37 | 21 | 57 | 40 | 1,9 | 0,66 | 4,9 | 53,3 |
| 1 | " | 50 | 26 | 23 | 0 | 50+ | 35 | 29 | 83 | 35 | 2,2 | 0,65 | 4,5 | 49,5 |
| 1 | " | 50 | 45 | 41 | 38 | 50+ | 36 | 19 | 53 | 40 | 1,9 | 0,70 | 6,4 | 44,3 |
| 1 | " | 46 | 19 | 6 | 2 | 50+ | 37 | 29 | 78 | 36 | 2,4 | 0,74 | 7,0 | 47,8 |
| 1 | " | 50 | 1 | 0 | 0 | 50+ | 33 | 25 | 75 | 40 | 1,8 | 0,59 | 7,3 | 48,1 |
| 2 | " | 50+ | 43 | 2 | 1 | 50+ | 37 | 38 | 22 | - | 1,3 | 0,89 | 11,1 | 46,9 |
| 2 | " | 50+ | 50 | 50 | 45 | 50+ | 37 | 22 | 59 | 36 | 1,3 | 1,10 | 10,2 | 55,7 |
| 2 | " | 50 | 50 | 50 | 47 | 50+ | 36 | 23 | 64 | 37 | 1,6 | 1,02 | 9,7 | 52,3 |
| 2 | " | 50 | 3 | 0 | 0 | 50+ | 36 | 19 | 53 | 40 | 1,5 | 1,10 | 9,4 | 50,1 |
| 2 | " | 50+ | 50 | 47 | 36 | 50+ | 35 | 21 | 60 | 40 | 1,8 | 1,10 | 11,4 | 38,4 |
| 2 | " | 50+ | 50+ | 47 | 45 | 50+ | 37 | 4 | 11 | 40+ | 1,9 | 1,01 | 11,0 | 43,9 |
| 2 | " | 45 | 2 | 0 | 0 | 50+ | 34 | 22 | 65 | 37 | 1,7 | 1,04 | 10,5 | 38,7 |
| 2 | " | 50+ | 4 | 0 | 0 | 50+ | 33 | 7 | 21 | 27 | 1,7 | 1,10 | 10,6 | 45,5 |

| MARCA | PROCEDENCIA | Norma ASTM C-530-61 T | | | | | | | | | | Norma ASTM C-451-62 T | | | | SO ₃ % | Alcalis en Na ₂ O % | AC ₃ Calc. % | SC ₃ Calc. % |
|-------|---------------------|-----------------------|-----|-----|------|--------|-------|-------|----|--------|-----|-----------------------|------|------|--|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | Penetraciones (mm) | | | | | | | | | | Penetraciones (mm) | | | | | | | |
| | | Inic. | 5 m | 8 m | 11 m | Remez. | Inic. | Final | % | Remez. | | | | | | | | | |
| 3 | Rca. Argen- tina | 50 | 48 | 43 | 34 | 50 | 37 | 32 | 86 | - | 1,9 | 1,04 | 13,8 | 36,7 | | | | | |
| 3 | " | 48 | 41 | 38 | 20 | 50 | 38 | 24 | 63 | 40 | 1,6 | 1,03 | 13,5 | 28,9 | | | | | |
| 3 | " | 50+ | 50+ | 48 | 44 | 50+ | 36 | 24 | 67 | 40 | 1,9 | 1,05 | 11,3 | 33,6 | | | | | |
| 3 | " | 50+ | 50 | 45 | 44 | 50+ | 36 | 26 | 72 | 40+ | 2,0 | 1,00 | 12,3 | 27,0 | | | | | |
| 3 | " | 50+ | 50 | 50 | 46 | 50+ | 37 | 21 | 57 | 40+ | 2,1 | 1,10 | 11,6 | 38,0 | | | | | |
| 3 | " | 50+ | 40 | 25 | 19 | 50+ | 33 | 18 | 55 | 40+ | 1,6 | 1,11 | 12,1 | 28,8 | | | | | |
| 4 | " | 50 | 8 | 6 | 6 | 50 | 36 | 27 | 75 | 30 | 2,1 | 0,97 | 5,4 | 46,9 | | | | | |
| 4 | " | 50 | 47 | 45 | 41 | 50+ | 32 | 17 | 53 | 28 | 1,2 | 0,87 | 9,8 | 37,5 | | | | | |
| 4 | " | 50+ | 50 | 47 | 43 | 50+ | 35 | 18 | 51 | 25 | 1,2 | 0,86 | 9,2 | 39,9 | | | | | |
| 4 | " | 50+ | 48 | 2 | 0 | 50+ | 30 | 7 | 23 | 22 | 1,2 | 1,00 | 9,8 | 35,0 | | | | | |
| 4 | " | 50+ | 50 | 49 | 49 | 50+ | 38 | 30 | 79 | 38 | 1,5 | 0,85 | 9,2 | 43,8 | | | | | |
| 4 | " | 32 | 30 | 27 | 12 | 50 | 38 | 35 | 92 | 40+ | 1,2 | 0,73 | 10,2 | 35,9 | | | | | |
| 4 | " | 50+ | 45 | 5 | 2 | 50+ | 33 | 35 | 97 | 40+ | 1,4 | 0,87 | 9,8 | 40,0 | | | | | |
| 4 | " | 50+ | 50 | 47 | 22 | 50+ | 33 | 26 | 79 | 40 | 1,6 | 0,97 | 8,8 | 35,9 | | | | | |
| 5 | " | 50 | 33 | 10 | 6 | 29 | 33 | 8 | 24 | - | 1,5 | 1,16 | 11,4 | 45,0 | | | | | |
| 5 | " | 50 | 11 | 4 | 2 | 50 | 37 | 22 | 59 | 39 | 1,9 | 1,03 | 12,9 | 45,2 | | | | | |
| 5 | " | 50 | 47 | 42 | 22 | 27 | 37 | 17 | 46 | 40 | 1,6 | 1,33 | 13,7 | 40,6 | | | | | |
| 5 | " | 50 | 45 | 40 | 21 | 30 | 35 | 21 | 60 | 40 | 1,6 | 1,26 | 19,7 | 37,5 | | | | | |
| 5 | " | 50+ | 50+ | 50 | 47 | 50+ | 36 | 29 | 80 | 40 | 1,5 | 1,31 | 11,5 | 49,3 | | | | | |
| 5 | " | 50+ | 50 | 48 | 44 | 50+ | 37 | 33 | 89 | 40 | 1,9 | 1,29 | 11,7 | 42,7 | | | | | |
| 6 | " | 50 | 50 | 46 | 45 | 50 | 37 | 35 | 94 | 38 | 1,2 | 1,00 | 9,2 | 57,3 | | | | | |
| 6 | " | 50+ | 50+ | 46 | 12 | 50+ | 38 | 26 | 68 | 38 | 1,7 | 0,82 | 16,6 | 29,9 | | | | | |
| 6 | " | 50 | 45 | 41 | 41 | 50+ | 37 | 26 | 70 | 35 | 1,7 | 0,83 | 13,1 | 31,9 | | | | | |
| 6 | " | 50+ | 50+ | 47 | 45 | 50+ | 37 | 25 | 68 | 39 | 1,6 | 0,75 | 12,5 | 27,2 | | | | | |
| 6 | " | 50 | 48 | 45 | 43 | 50+ | 37 | 25 | 68 | 37 | 1,5 | 0,73 | 8,4 | 45,4 | | | | | |
| 7 | " | 50 | 31 | 18 | 7 | 50 | 36 | 24 | 67 | - | 1,7 | 0,83 | 9,5 | 35,0 | | | | | |
| 7 | " | 50 | 45 | 39 | 15 | 50+ | 37 | 24 | 65 | 37 | 1,2 | 0,89 | 2,7 | 40,8 | | | | | |

TABLA I (cont)

| MARCA | PROCEDENCIA | Norma ASTM C-539-61 T | | | Norma ASTM C-451-62 T | | | SO ₃ % | Alcalis en Na ₂ O % | AC ₃ Calc. % | SC ₃ Calc. % | | | |
|-------|----------------|-----------------------|-----|------|-----------------------|--------------------|--------------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|------|------|------|
| | | 5 m | 8 m | 11 m | Penetraciones (mm) | Penetraciones (mm) | Penetraciones (mm) | | | | | | | |
| 7 | Rca. Argentina | 50 | 44 | 40 | 32 | 50+ | 38 | 23 | 60 | 31 | 1,4 | 0,96 | 3,0 | 41,9 |
| 7 | " | 50+ | 50 | 45 | 41 | 50+ | 34 | 26 | 76 | 33 | 1,5 | 0,76 | 9,0 | 40,8 |
| 7 | " | 50 | 45 | 43 | 33 | 50 | 38 | 25 | 66 | 36 | 2,1 | 0,98 | 10,2 | 46,1 |
| 7 | " | 50+ | 7 | 2 | 0 | 50+ | 37 | 21 | 57 | 35 | 2,2 | 0,91 | 11,0 | 48,9 |
| 8 | " | 50 | 43 | 39 | 37 | 50+ | 38 | 30 | 79 | 38 | 1,3 | 0,58 | 6,7 | 38,2 |
| 8 | " | 50 | 46 | 30 | 25 | 50+ | 35 | 27 | 77 | 40 | 1,3 | 0,55 | 7,0 | 40,8 |
| 8 | " | 50 | 45 | 32 | 24 | 50+ | 36 | 27 | 75 | 40 | 1,3 | 0,63 | 4,0 | 54,5 |
| 8 | " | 50 | 47 | 35 | 23 | 50+ | 46 | 8 | 22 | 40 | 1,8 | 0,72 | 4,6 | 46,0 |
| 8 | " | 49 | 47 | 36 | 24 | 50+ | 38 | 11 | 29 | 40+ | 1,2 | 0,72 | 5,9 | 40,7 |
| 8 | " | 50+ | 50+ | 48 | 44 | 50+ | 37 | 25 | 68 | 38 | 1,4 | 0,70 | 6,1 | 31,1 |
| 9 | " | 50 | 11 | 3 | 1 | 50 | 32 | 22 | 69 | - | 1,5 | 1,16 | 11,4 | 53,9 |
| 9 | " | 50 | 32 | 30 | 14 | 50+ | 38 | 35 | 92 | 40 | 1,6 | 1,08 | 5,0 | 67,6 |
| 9 | " | 29 | 11 | 5 | 2 | 50+ | 38 | 22 | 58 | 40+ | 1,6 | 1,09 | 9,9 | 47,0 |
| 9 | " | 44 | 38 | 24 | 19 | 50+ | 37 | 25 | 68 | 40 | 1,3 | 1,24 | 6,2 | 49,9 |
| 9 | " | 45 | 3 | 0 | 0 | 50+ | 38 | 23 | 61 | 40+ | 1,8 | 1,27 | 10,7 | 47,1 |
| 10 | " | 50 | 48 | 40 | 29 | 50 | 37 | 29 | 79 | 38 | 1,7 | 0,57 | 4,2 | -- |
| 10 | " | 50 | 45 | 35 | 25 | 50+ | 38 | 23 | 60 | 40 | 1,6 | 0,42 | 5,9 | 47,2 |
| 10 | " | 50 | 47 | 38 | 25 | 50+ | 38 | 23 | 60 | 40+ | 1,8 | 0,45 | 6,2 | 39,8 |
| 10 | " | 50+ | 46 | 33 | 23 | 50+ | 37 | 22 | 59 | 40 | 1,4 | 0,22 | 7,0 | 55,4 |
| 10 | " | 50+ | 50 | 45 | 39 | 50+ | 37 | 56 | 56 | 40 | | | | |
| 10 | " | 50+ | 45 | 38 | 2 | 50+ | 36 | 22 | 61 | 40+ | | | | |
| 10 | " | 50 | 49 | 45 | 37 | 50+ | 37 | 24 | 67 | 40+ | | | | |
| 10 | " | 42 | 25 | 14 | 9 | 50+ | 38 | 27 | 71 | 40+ | 1,7 | 0,50 | 6,2 | 50,9 |
| 10 | " | 50+ | 25 | 12 | 3 | 50+ | 36 | 22 | 61 | 40+ | | | | |
| 10 | " | 50+ | 50 | 47 | 43 | 50+ | 36 | 17 | 47 | 40+ | | | | |
| 10 | " | 50 | 45 | 42 | 40 | 50+ | 37 | 25 | 67 | 40+ | | | | |
| 10 | " | 50 | 45 | 40 | 36 | 50+ | 33 | 17 | 51 | 40 | | | | |
| 10 | " | 50 | 21 | 9 | 3 | 50+ | 33 | 17 | 51 | 40 | | | | |
| 10 | " | 50 | 48 | 43 | 41 | 50+ | 37 | 25 | 67 | 35 | 1,8 | 0,30 | 8,0 | 50,8 |

| MARCA | PROCEDENCIA | Norma ASTM C-539-61: T | | | | Norma ASTM C-451-62 T | | | | SO ₃ % | Alcalis en Na ₂ O % | AC ₃ Calc. % | SC ₃ Calc. % |
|-------|----------------|------------------------|-----|------|---------------------------|-----------------------|----------|--------------------|--------|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | Inic. 5 m | 8 m | 11 m | Remez. Penetraciones (mm) | Inic. Final | % Remez. | Penetraciones (mm) | Remez. | | | | |
| 10 | Rca. Argentina | 50 | 47 | 43 | 41 | 50+ | 33 | 22 | 66 | 36 | | | |
| 10 | " | 50+ | 8 | 2 | 1 | 50+ | 33 | 21 | 66 | 40 | 8,0 | 51,0 | |
| 11 | " | 50 | 45 | 35 | 27 | 50 | 35 | 25 | 71 | 29 | 2,2 | 51,7 | |
| 11 | " | 50+ | 50+ | 47 | 45 | 50+ | 31 | 16 | 52 | 26 | 9,2 | 40,4 | |
| 11 | " | 50+ | 50 | 48 | 48 | 50+ | 32 | 18 | 57 | 36 | 7,8 | 47,7 | |
| 11 | " | 50+ | 2 | 0 | - | 50+ | 34 | 12 | - | 40+ | 8,5 | 46,6 | |
| 11 | " | 50 | 35 | 13 | 8 | 50 | 37 | 24 | 65 | - | | | |
| 12 | " | 50 | 50 | 48 | 47 | 50 | 38 | 37 | 97 | 40 | 6,6 | 38,3 | |
| 12 | " | 50 | 9 | 7 | 5 | 50+ | 31 | 16 | 52 | 25 | 8,3 | 39,9 | |
| 12 | " | 50 | 10 | 7 | 4 | 50+ | 34 | 20 | 29 | 28 | | | |
| 12 | " | 50 | 10 | 8 | 4 | 50+ | 32 | 17 | 53 | 27 | 5,6 | 48,2 | |
| 12 | " | 50 | 12 | 8 | 5 | 50+ | 34 | 19 | 56 | 29 | 10,1 | 36,4 | |
| 12 | " | 50 | 13 | 5 | 3 | 50+ | 34 | 17 | 50 | 40+ | 9,8 | 25,5 | |
| 12 | " | 49 | 15 | 7 | 5 | 50+ | 34 | 19 | 56 | 40 | 11,0 | 39,6 | |
| 12 | " | 45 | 5 | 5 | 3 | 50+ | 33 | 19 | 58 | 31 | 9,0 | 36,5 | |
| 13 | " | 50+ | 49 | 47 | 45 | 50+ | 31 | 21 | 68 | 27 | 6,2 | 69,3 | |
| 13 | " | 50 | 45 | 41 | 32 | 50+ | 37 | 26 | 70 | 40+ | 9,2 | 70,2 | |
| 13 | " | 50 | 11 | 2 | 1 | 50+ | 37 | 25 | 68 | 40+ | | | |
| 13 | " | 29 | 12 | 11 | 11 | 50+ | 34 | 23 | 67 | 40 | 6,8 | 72,5 | |
| 14 | Rumania | 50 | 48 | 45 | 45 | 50 | 36 | 35 | 97 | - | 7,4 | 40,0 | |
| 14 | " | 50 | 50 | 45 | 40 | 50 | 37 | 35 | 95 | - | 8,6 | 45,0 | |
| 14 | " | 48 | 45 | 45 | 40 | 50 | 38 | 36 | 95 | - | 5,3 | 37,7 | |
| 15 | Venezuela | 27 | 0 | 0 | 0 | 43 | 35 | 11 | 31 | 31 | 9,5 | 62,0 | |
| 15 | " | 50 | 6 | 2 | 0 | 50 | 37 | 14 | 38 | 29 | 10,7 | 44,5 | |
| 15 | " | 50 | 12 | 6 | 0 | 45 | 36 | 11 | 31 | 1,0 | 9,6 | 59,3 | |
| 15 | " | 50 | 2 | 0 | 0 | 50 | 38 | 6 | 16 | 1,8 | 12,3 | 53,7 | |
| 15 | " | 48 | 4 | 0 | 0 | 45 | 36 | 5 | 14 | 1,9 | 8,7 | 44,8 | |
| 16 | Perd | 5 | 3 | 0 | 0 | 40 | 37 | 2 | 5 | 2,4 | 15,9 | 50,8 | |
| 16 | " | 15 | 8 | 3 | 2 | 44 | 36 | 8 | 22 | 1,2 | 14,5 | 56,8 | |

TABLA I (cont).

| MARCA | PROCEDENCIA | Norma ASTM C-539-61 T | | | | Norma ASTM C-451-62 T | | | | SO ₃ % | Alcalis en Na ₂ O % | AC ₃ Calc. % | SC ₃ Calc. % |
|-------|-------------|-----------------------|-----|-----|------|-----------------------|-------|-------|----|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | | Penetraciones (mm) | 5 m | 8 m | 11 m | Remez. | Inic. | Final | % | | | | |
| 16 | Perú | 10 | 7 | 2 | 0 | 45 | 34 | 14 | 41 | 1,9 | 0,43 | 9,0 | 35,2 |
| 17 | " | 50 | 50 | 45 | 45 | 50 | 34 | 32 | 94 | 1,5 | 0,84 | 9,2 | 41,8 |
| 17 | " | 50 | 50 | 45 | 45 | 47 | 32 | 30 | 94 | 2,3 | 0,44 | 6,1 | 53,2 |
| 18 | Chile | 12 | 6 | 0 | 0 | 21 | 38 | 8 | 21 | 3,6 | 0,86 | -- | -- |
| 18 | " | 5 | 0 | 0 | 0 | 7 | 34 | 2 | 6 | 2,1 | 0,84 | -- | -- |

TABLA II

RESULTADO DE ENSAYOS DE FALSO FRAGUADO DE CEMENTOS ALMACENADOS EN DIVERSAS CONDICIONES

| MARCA | Exposición | Norma A.S.T.M. C-359-61 T | | | | | Norma A.S.T.M. C-451-62 T | | | |
|-------|------------|---------------------------|-------|-------|--------|------------|---------------------------|-------|----|------------|
| | | Inicial | 5 min | 8 min | 11 min | Remezclado | Iniciación | Final | % | Remezclado |
| 1 | A | 50 | 9 | 5 | 5 | 30 | 35 | 25 | 71 | 35 |
| | B | 50 | 34 | 19 | 11 | 50 | 36 | 27 | 75 | 40 |
| 1 | A | 50 | 8 | 1 | 0 | 50 | 36 | 27 | 75 | 36 |
| | C | 45 | 11 | 0 | 0 | 50 | 35 | 26 | 74 | 40 |
| 1 | A | 50 | 50 | 49 | 45 | 50 | 31 | 12 | 38 | 17 |
| | C | 50 | 50 | 46 | 43 | 50 | 33 | 22 | 66 | 31 |
| 2 | A | 50 | 50 | 50 | 45 | 50 | 37 | 22 | 59 | 36 |
| | B | 50 | 50 | 50 | 31 | 50 | 37 | 27 | 73 | 39 |
| 3 | A | 48 | 41 | 38 | 20 | 50 | 38 | 24 | 63 | 40 |
| | C | 22 | 16 | 5 | 4 | 50 | 36 | 12 | 33 | 39 |
| 3 | A | 50 | 50 | 50 | 46 | 50 | 37 | 21 | 57 | 40 |
| | C | 48 | 33 | 11 | 7 | 50 | 34 | 16 | 48 | 40 |
| 9 | A | 50 | 32 | 30 | 14 | 50 | 38 | 35 | 92 | 40 |
| | C | 45 | 5 | 0 | 0 | 50 | 35 | 11 | 34 | 40 |
| 7 | A | 50 | 45 | 39 | 15 | 50 | 37 | 24 | 65 | 34 |
| | B | 50 | 50 | 45 | 44 | 50 | - | - | - | - |
| | C | - | - | - | - | - | 35 | 12 | 34 | 33 |

| MARCA | Exposición | Norma A.S.T.M. C-359-61 T Penetraciones (mm) | | | | Norma A.S.T.M. C-451-62 T Penetraciones (mm) | | | | |
|-------|------------|---|-------|-------|--------|---|------------|-------|----|------------|
| | | Inicial | 5 min | 8 min | 11 min | Remezclado | Iniciación | Final | % | Remezclado |
| 7 | A | 50 | 50 | 45 | 41 | 50 | 34 | 26 | 76 | 33 |
| | C | 43 | 34 | 21 | 18 | 50 | 35 | 29 | 82 | 39 |
| 11 | A | 50 | 45 | 35 | 27 | 50 | 35 | 25 | 71 | 29 |
| | B | 50 | 48 | 42 | 41 | 50 | 35 | 29 | 82 | 39 |
| | C | 36 | 22 | 12 | 7 | 50 | 35 | 32 | 91 | 40 |
| 19 | A | 50 | 49 | 46 | 44 | 50 | 38 | 33 | 87 | 40 |
| | C | 50 | 46 | 42 | 38 | 50 | 33 | 27 | 81 | 40 |
| 13 | A | 50 | 50 | 50 | 45 | 50 | 35 | 30 | 86 | 40 |
| | C | 50 | 50 | 48 | 20 | 50 | 34 | 19 | 56 | 38 |

A : Sin exposición. Inmediatamente al llegar al Laboratorio.

B : Almacenado 8 meses en envases de polietileno cerrado herméticamente.

C : Expuesto 8 días en ambiente de laboratorio (temperatura de: $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y $50 \pm 5\%$ de humedad relativa).