
NOTAS TÉCNICAS

LECHADA ASFÁLTICA*

CUANDO UN VIEJO PAVIMENTO, por la acción del tránsito, comienza a agrietarse y a llegar al fin de su vida útil, su costo de reparación, mantención y conservación es sumamente elevado siendo necesario a veces reemplazarlo por una carpeta nueva o bien agregar sobre él una nueva capa asfáltica. En este caso los métodos usuales se pueden clasificar en 1) Carpeta de recubrimiento o sello compuesto de asfalto líquido y arena, grava o chancado mezclados en sitio y 2) Capa de espesor considerable de materiales mezclados en planta. El primer método es generalmente usado para superficies viejas y secas pero firmes, y debe ser usado antes que el viejo pavimento comience a disgregarse. Se requiere lo segundo si la superficie ya ha comenzado a disgregarse o si se desea mayor espesor para soportar cargas. En cualquier caso las grietas que existen en el viejo pavimento son "recubiertas" más bien que rellenadas y aparecen en la nueva superficie después de algún tiempo. En general, reparando pavimentos por cualquiera de estos dos métodos se obtienen mejores resultados con materiales mezclados en caliente (mezclas en planta) que mezclados en frío (mezclas en sitio).

Considerando este problema, como también el del costo y el de la urgencia de restaurar pavimentos deteriorados antes que se desintegren, el Depto. de Caminos de Los Angeles, California, inició hace unos 12 años experimentos con varias mezclas de arena, filler y asfalto. A esta mezcla y a la membrana resultante o capa de sello se le llamó lechada asfáltica, sin sospechar la fama que alcanzaría.

La experiencia comenzó a materializarse cuando se hicieron progresos en el perfeccionamiento de la mezcla y en la técnica de la aplicación a la superficie del pavimento en gran escala.

Al comienzo, la lechada se mezclaba por procedimientos manuales dándole una consistencia semejante a la del yeso húmedo. Después de verter la mezcla sobre el pavimento humedecido, mediante escobillones de goma se la esparcía sobre las grietas y dentro de las depresiones mayores.

El tratamiento, aunque constituía un éxito y era muy barato, resultaba muy lento y daba un pavimento con aspecto manchado y feo.

* Charla dada en el Instituto Chileno del Asfalto el día 5 de enero de 1965.

Entonces se persuadió a una empresa de camiones mezcladores de hormi-gón para intentar con enfoque comercial el arreglo de baches y el sellado de grietas empleando lechada. Con ese fin se construyó una caja distribuidora de madera y correas de goma, para ser arrastrada por el camión mezclador, de manera que la caja distribuidora cubriera un ancho de pavimento de 3 m por casi 300 m de longitud. Con esta innovación el procedimiento se puso en marcha.

DEFINICION

La lechada asfáltica consiste en una mezcla de filler mineral, arena, agua y una emulsión asfáltica que es preparada en cualquier camión mezclador, en plantas mezcladoras especialmente diseñadas o, sencillamente, en grandes fondos.

La mezcla, que tiene una consistencia cremosa de color marrón similar a la de la sopa de lentejas, es aplicada en delgadas capas por un escobillón de goma montado en una caja distribuidora especial.

Luego de la deshidratación, la lechada forma un fino, denso y flexible sello asfáltico sobre el pavimento existente.

Para avaluar el uso, construcción y comportamiento de la lechada y correlacionar los ensayos de laboratorio con los resultados en terreno se emprendió un extensivo programa de estudios.

Estos ensayos consistían en estudiar en laboratorio las condiciones granulométricas más favorables, el contenido óptimo de asfalto y de agua, y el grado o tipo más conveniente de la emulsión a usarse, para luego observar su comportamiento en terreno. Por otra parte, se consultaron ingenieros, personal de mantención y constructores para fijar y determinar las prácticas de su construcción.

Se estudiaron y fueron periódicamente fotografiadas 83 proyectos entre 1956 y 1958.

USOS DE LA LECHADA ASFALTICA

La lechada asfáltica puede ser usada en las siguientes operaciones:

Rellenar grietas y depresiones de pavimentos agrietados.

Emparejar superficies de carpetas muy abiertas.

Mantención de pavimentos agrietados o defectuosos mientras son reconstruidos.

Capas de revestimientos superficiales para aeropuertos y para áreas sin circulación, tales como estacionamientos y bermas.

La lechada como rellenedor de grietas.

La lechada, por su fluidez, resuelve el problema de llenar grietas, pues cuan-

do está bien mezclada se desliza dentro de ellas y las llena completamente así como a los baches y depresiones del viejo pavimento, proporcionando una superficie suave y resistente al desgaste por rodadura.

Al evaporarse el agua usada en la mezcla, deja una dura película negra sobre la superficie bañada, impermeable a la penetración del agua y prácticamente indestructible. La experiencia ha demostrado que el calor es innecesario y aun indeseable, siendo ideal la temperatura ambiente (20°), y que el tiempo húmedo y frío es también perjudicial por cuanto impide la evaporación del agua agregada a la mezcla y retarda el fraguado de la emulsión hasta el punto de perder la impermeabilidad.

Habrá que recalcar, sin embargo, que la lechada asfáltica no es una panacea universal para pavimentos deteriorados: pues ella no corregirá la falta de estabilidad de un pavimento, ni tampoco la falla de una sub-rasante o sub-base saturada; y no debe usarse en lugar de una carpeta premezclada apta para soportar cargas cuando ésta es la indicada.

La lechada como emparejador de superficies de carpetas muy abiertas.

La lechada colocada como sello de una carpeta asfáltica muy abierta da a ésta una nueva apariencia uniforme, y además, a causa de su impermeabilidad impide que penetre agua en la carpeta y así evita su oxidación prematura.

Normalmente la lechada cumple esta función de emparejador de superficies muy abiertas, unos tres años.

La lechada como sello de superficies.

Se ha visto que la lechada es indicada para aplicarla en aeropuertos y pistas de despegue, especialmente donde operan aviones a retroimpulso, pues la ausencia de partículas sueltas tales como piedrecillas y/o arena, y su superficie lisa son cualidades deseables en sumo grado para esta clase de operaciones.

En parques de estacionamiento es particularmente adecuado y económico que sobre una buena base se coloque un sello de esta lechada, que reemplazaría a una carpeta más cara. Es fácil darse cuenta de lo conveniente que sería colocar un sello de este tipo para recubrir las bermas de un camino, pues ello evitaría su disgregación por la acción del tránsito. En este caso, como en el del sello en parques de estacionamiento, es imprescindible imprimir la base para asegurar el pegue de ésta con el sello de lechada. Demás está decir cómo se suavizaría un pavimento de hormigón con un sello de lechada.

ESPECIFICACIONES

La lechada, como se definió, es una mezcla de polvo de roca o de arena o una combinación de ambas, filler, una emulsión asfáltica para mezclas del

tipo de quiebre lento, como SS-1 o SS-1h y agua suficiente para hacer una pasta muy mojada y fluida, pero cremosa. Pueden usarse con éxito ambos tipos de emulsión: la SS-1 en general es mejor para climas fríos y la SS-1h, para cálidos. En general también las emulsiones catiónicas son más afines para los tipos de áridos silíceos, que son los que más abundan en nuestro país; pues las aniónicas presentan la tendencia a formar grumos con este tipo de material.

Después de numerosos ensayos se vió que las mezclas que mejor se comportaban caían dentro de las siguientes especificaciones:

1 Granulometría:	Tamiz ASTM	% que pasa
	Nº 8	100
	Nº 10	90 - 100
	Nº 20	60 - 85
	Nº 40	40 - 60
	Nº 80	15 - 30
	Nº 200	3 - 10

2 Plasticidad: La fracción de áridos que pasa la malla Nº 40 debe ser no plástica.

3 Ensaye de desgaste por vía húmeda: El desgaste, en el ensaye por vía húmeda de la mezcla de áridos con la emulsión y el agua, debe ser menor de 1100 g/m².

En la granulometría, las partículas mayores de la mezcla proveen la aspereza necesaria para obtener una superficie no resbaladiza que sea segura para el tránsito aunque esté húmeda.

Las partículas finas se combinan con las moléculas de asfalto para proveer la fluidez necesaria para una mezcla homogénea, fácil de extender y estable. Sin las partículas del tamaño 200-270 mallas (0,074 a 0,050 mm) que se encuentran en el filler, constituido ya sea por cal hidratada, cemento o polvo de roca, la mezcla se separaría en arena y líquido: con la arena apilada en la escobilla de goma y el líquido escapándose de ella. Además, cuando la lechada hubiera fraguado se encontraría que se habría descompuesto en un perfecto sandwich, con el asfalto arriba y abajo, y la arena al medio. Con esto, un alto porcentaje del material sería fácilmente erosionado por el tráfico.

La experiencia mostrará qué granulometría, dentro de la citada banda, resulta más conveniente para determinada aplicación: una granulometría relativamente gruesa logra cualidades antideslizantes, mientras que con una más fina se logra mejor relleno de grietas. En cuanto al agua, la cantidad más adecuada está comprendida entre el 8 al 15% del peso de la mezcla total.

DISEÑO DE LA MEZCLA OPTIMA

Al comienzo, el método de evaluar la mezcla óptima de asfalto consistía en construir pequeñas canchas de prueba en laboratorio con distintas mezclas. El contenido de asfalto emulsionado más conveniente se determinaba por el

desgaste de la superficie con la suela del zapato, usándose tanto acción de fricción como también de torsión. Para mejorar el sistema, los ingenieros P.E. McCoy y L.D. Coyne desarrollaron el ensayo de desgaste por vía húmeda de sello de lechada. (Fig. 1).

El ensaye consiste en mezclar muestras del agregado con asfalto emulsionado en proporciones de 5%; 10%; 15%, y 20% y con la cantidad de agua necesaria para formar una lechada cremosa; luego se preparan muestras circulares de $\frac{1}{8}$ " de espesor y 11,25" de diámetro sobre una capa de fieltro de techo de calibre de 60 lbs. Después de secarlas hasta un peso constante a 60°C, las muestras son enfriadas, pesadas y colocadas en un baño de agua a 25°C durante una hora. A continuación las muestras son colocadas en

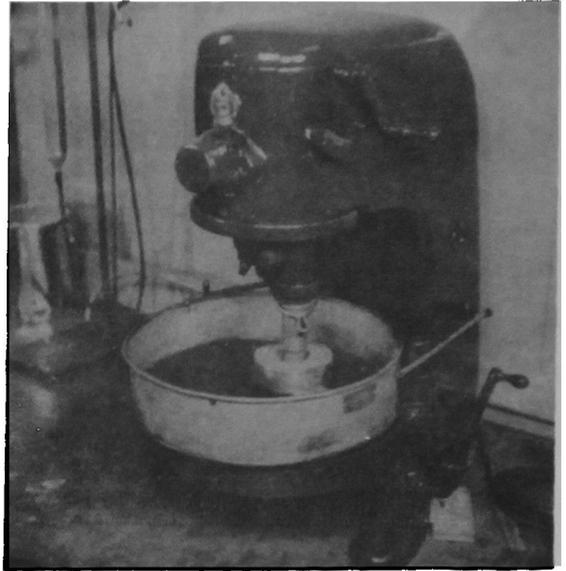


Fig. 1. Máquina de abrasión ensayando una muestra de lechada asfáltica.¹

la máquina, cubiertas con agua y desgastadas durante 5 minutos. La acción del desgaste se produce por un tapón de caucho, montado en el mezclador. Luego del desgaste las muestras son secadas y pesadas. A la pérdida de material, en g/m^2 se le llama "valor del desgaste". Este ensaye dirá con qué porcentaje de asfalto se consigue el menor desgaste; lógicamente se preferirá el menor porcentaje de asfalto que haya manifestado un desgaste inferior a 1100 g/m^2 .

CONSTRUCCION

Procedimiento de mezclado.

En el procedimiento de mezclado, el agua y la emulsión deben combinarse primero dentro del tambor mezclador antes de adicionar pareja y lentamente el agregado seco, que debe estar a la temperatura ambiente. El tambor debe girar lentamente mientras se carga y no debe aparecer espuma o segregación de la emulsión, ni grumos, agitación o henchimiento del agregado durante el proceso de mezcla. No debe permitirse que la mezcla se seque o endurezca durante la operación; si es necesario, se añadirá una cantidad limitada de agua antes de completar la adición del agregado.

Si la formación de terrones constituye un problema se prefiere un segundo método de mezclado. Consiste en comenzar con las $\frac{3}{4}$ partes del agua a usarse añadiendo primero el árido, luego la emulsión y por último el resto del agua. Este método de comenzar por el agua, puede aumentar la absorción de algunos agregados lo que reducirá la cantidad de emulsión disponible para el recubrimiento de las partículas.

Preparación del pavimento.

El pavimento a tratar debe barrerse en forma enérgica y, si fuera posible, lavarse intensamente para eliminar las partículas sueltas. Debe arrancarse toda vegetación y soplar con aire comprimido todas las grietas. Ser negligente en estas medidas significará un trabajo poco satisfactorio o un fracaso. El éxito de la lechada depende de su adherencia con el pavimento y su principal utilidad es la de rellenar grietas. Todos los baches y depresiones mayores deben rellenarse antes de la aplicación, pues si bien la lechada llenará los huecos, el fraguado tardará más en los pozos profundos.

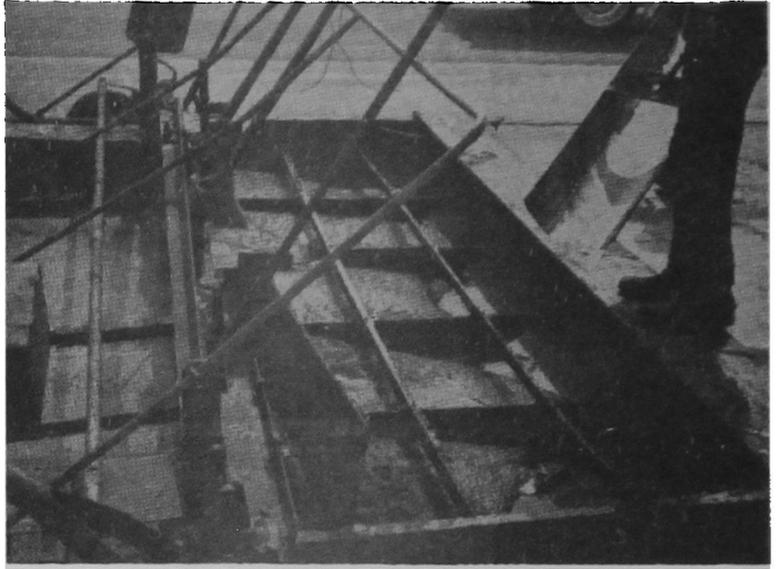
También es esencial humedecer el pavimento delante de la caja o del camión de arrastre. El humedecimiento cumple el triple propósito de asentar el polvo suelto, reducir el calor excesivo en la superficie de la calzada y satisfacer parcialmente la avidez de agua del viejo pavimento. Sin esta humedad, un pavimento seco puede absorber tanto líquido de la lechada, que no se produzca adherencia o que la lechada se desmorone. El humedecimiento anterior puede reemplazarse por un riego de imprimación preparado con el mismo tipo de emulsión diluida en 3 a 5 partes de agua. Esta imprimación ligante se recomienda en casos de adherencia dudosa.

Cajas distribuidoras

Se han utilizado con buenos resultados numerosos tipos y modelos de esparcidores, desde la barredora manual de goma con mango largo y cajas de varios tamaños, hasta la complicada amasadora móvil completa e independiente.

La caja distribuidora más común es un marco de madera rectangular de 2,40 x 3,00 m o de 2,40 x 3,60 m dependiendo del ancho de la faja (Fig. 2). A este marco se le adiciona una hoja barredora-esparcidora de dos cintas de neopreno, (que es resistente al petróleo) de 13 mm de espesor y aproximadamente 15 cm de ancho y de una dureza 55-60. Una sola cinta es demasiado flexible para esparcir con uniformidad y hojas más gruesas serían muy rígidas. Además para evitar la pérdida de mezcla en los cambios de gradiente o en depresiones angostas se bordea el frente y los costados de la caja con una cinta de neopreno de 6 mm de espesor. Esta cinta se atornilla o se clava en el marco de manera que arrastre sobre el pavimento de 10 a 15 cm.

Fig. 2. Caja de lechada asfáltica típica con divisiones para impedir el movimiento lateral del material.²



La caja se sujeta al vehículo remolcador mediante cables y cadenas, que deben ser lo suficientemente largos para que el frente de la caja no sea levantado durante la operación. Amarrar la caja al parachoque delantero del camión pasando los cables por debajo del chasis le da mas estabilidad y también reduce cualquier tendencia a balancearse.

Aplicación

Después de unir la caja distribuidora al camión mezclador, se vierte la lechada en el frente de la caja en cantidad suficiente para mantener la mezcla sobre el pavimento a 60 cm delante del esparcidor, y la caja es arrastrada hacia adelante a velocidad de marcha humana. Poca cantidad de lechada implicará

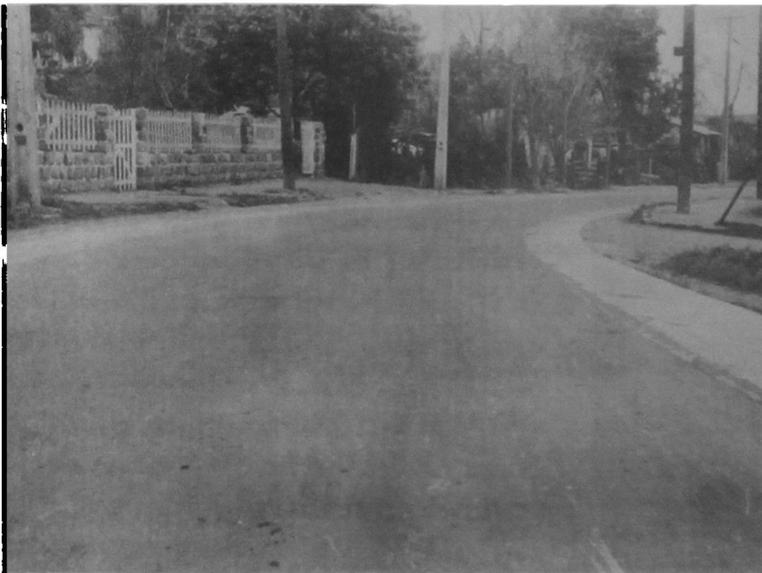


Fig. 3. Sello de lechada asfáltica en camino de San Enrique en El Arrayán.

puntos escasamente bañados y una cantidad excesiva significará mucha filtración hacia el costado, escurrimientos y derrames. Además, en caso que sea necesario parar, una gran cantidad de lechada se escapará y correrá bajo los bordes antes que pueda ser usada.

La lechada puede mezclarse nuevamente en cualquier momento antes del fraguado, añadiendo agua si se torna muy espesa o seca, lo que será indicado por un cambio de color de chocolate a negro. Por supuesto que demasiada agua lavaría la emulsión del agregado y causaría la separación. En caminos muy agrietados se requieren, a veces, dos aplicaciones: la primera para rellenar las rajaduras y la segunda para cubrir la superficie.

El tiempo de curado de la lechada varía desde $\frac{1}{2}$ hora en climas cálidos a 3 o 4 horas para aplicaciones mas intensas en climas fríos. El tránsito debe mantenerse interrumpido durante el curado en beneficio de su apariencia, pues los automóviles formarían huellas o levantarían la carpeta.

EJEMPLOS DE TRATAMIENTOS CON LECHADA ASFALTICA

En Chile prácticamente no se ha utilizado el sellado con lechada pues solo ha habido un proyecto serio, que fue la aplicación de este sello en el camino de San Enrique en El Arrayán, Fig. 3. En este caso se dio una aplicación sobre una carpeta que, por defectos de construcción, quedó demasiado abierta.

Este sello de lechada aún se conserva en muy buenas condiciones. La mezcla se efectuó en la siguiente proporción en peso.

Arena del pozo Lepanto	39%
Residuo de chancado	39%
Emulsión catiónica de quiebre lento	13%
Agua	9%

Otra experiencia se llevó a cabo en una cancha de prueba sobre una base estabilizada de C.B.R. 80%, de 800 m² en el patio del Laboratorio de la Dirección de Vialidad en La Florida (Fig. 4), la cual fue previamente imprimada con alquitrán del tipo RT-3. La emulsión usada fue del tipo SS-1 aniónica y los áridos una mezcla, dentro de la banda de especificaciones, de arena del Maipo



Fig. 4. Vertiendo la lechada asfáltica en la cancha de prueba de La Florida.

Fig. 5. Autopista de Pasadena².

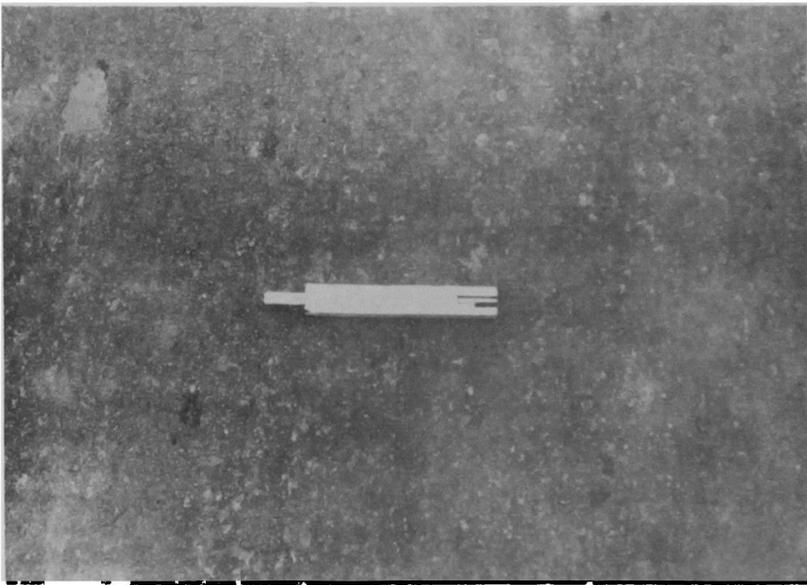


Fig. 6. Aspecto de la superficie de una carpeta sellada con lechada asfáltica. Camino San Enrique.

con polvo de roca del pozo La Feria. Un pequeño sector se mezcló con pumicita de los empréstitos del camino al aeropuerto de Pudahuel, en vez de arena. En este sector se observó que, al quebrar la emulsión, la mezcla de lechada se agrietó notoriamente.

Otra experiencia fueron unos parches insignificantes dentro del patio de IDIEM hechos por el suscrito que prácticamente no dicen nada; sólo que, después de 3 años de hechos, todavía duran.

En Estados Unidos son innumerables los casos en que se ha empleado; en la Fig. 5 se muestra uno de ellos.

CONCLUSIONES

El sello de lechada asfáltica tiene las siguientes ventajas:

Es un excelente rellenedor de grietas.

Empareja y da buena apariencia a carpetas muy abiertas. Fig. 6.

Prolonga la vida útil de un pavimento deteriorado o agrietado.

Es ideal para recubrir los pavimentos de aeropuertos.

Reduce sustancialmente los costos de construcción al colocarlo en parques de estacionamiento y en bermas de caminos.

Da superficies lisas y suaves cuando se recubre un pavimento de hormigón.

Su costo es sumamente bajo

Su construcción es fácil.

Y como punto final, sería sumamente interesante usar este tipo de sellado para mejorar y emparejar las maltrechas calles de nuestro Gran Santiago y lanzo la idea de que el Instituto del Asfalto, como una experiencia y con el auspicio de la Ilustre Municipalidad, aplicara este sello en una de las calles de nuestra capital.

REFERENCIAS

- 1.- KARY, W.E. y NEILL, C.E. "Emulsified Asphalt Slurry Seal Coats". Presentada en la Segunda Conferencia Anual de Caminos. College of the Pacific Stockton, California, marzo 4, 1959.
- 2.- HOKIN, F. "Lechada Asfáltica". Caminos y Construcción Pesada. vol XIX nº 12. Diciembre 1960. pp. 11-15.
- 3.- MARTIN, J.R. y WALLACE, H.A. "Asphalts Pavements". Mc Graw-Hill Books Company Inc. New York 1958.

Elías GUZMAN

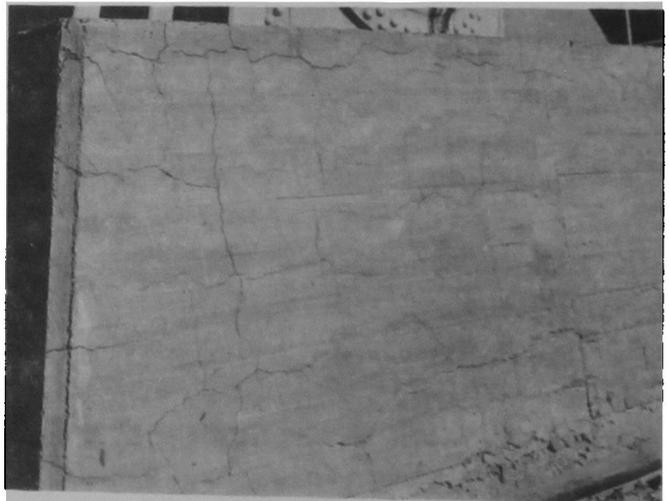
Jefe de laboratoristas de la
sección Mecánica de Suelos del IDIEM.

REACCION ALCALI-ARIDO EN EL HORMIGON

COMUNMENTE SE DA POR SENTADO que los áridos empleados en la confección del hormigón constituyen componentes física y químicamente inertes. Pero ocurre a veces que ciertos áridos reaccionan con algunos constituyentes del cemento o del agua pudiendo originar graves deterioros en las estructuras de hormigón. De estas reacciones, la que ha causado mayores daños en obras de hormigón, especialmente en Estados Unidos y en menor escala en Dinamarca e Inglaterra, ha sido la reacción álcali-árido. Se han realizado extensos estudios desde hace más de 20 años para conocer el origen, proceso y control de las reacciones alcalinas y aunque no se ha llegado a dilucidar completamente todos los problemas, se han encontrado soluciones prácticas, ya sea eludiendo el uso de cementos y áridos que produzcan esas reacciones o controlándolas mediante la adición de puzolanas.

En nuestro país ocurrió un caso, hace algunos años, que tuvo bastante importancia. El hormigón de diversas estructuras, en una Oficina Salitrera de Antofagasta, mostraba al poco tiempo ciertas evidencias de reacciones alcalinas. El daño producido en bases de maquinarias impedía el normal funcionamiento de éstas, con los consiguientes trastornos en la producción (fig. 1). Todos los áridos con que se abastecía esa Compañía para confeccionar sus hormigones, fueron ensayados en los laboratorios de IDIEM según los métodos recomendados por ASTM. Los resultados indicaron que, de un total de trece tipos de ári-

Fig. 1. Muro de hormigón con agrietamiento producido por reacciones alcalinas en un edificio de la Compañía Salitrera Anglo-Lautaro de Antofagasta.



dos estudiados, cinco eran reactivos con los álcalis del cemento. Los análisis petrográficos señalaron en los cinco áridos la presencia de constituyentes conocidos como reactivos, tales como ópalo y calcedonia.

Para reducir las expansiones producidas en el hormigón por la reacción entre esos áridos y los álcalis del cemento, IDIEM recomendó como aditivo una tierra de diatomeas proveniente de la misma zona. Los ensayos indicaron que la reducción era satisfactoria con un reemplazo del 25% del cemento por tierra de diatomeas pasada por malla nº 100 (0,149 mm).

Origen y desarrollo de las reacciones alcalinas

La reacción álcali-árido en el hormigón consiste en una reacción fisicoquímica que se produce entre las partículas de sílice reactiva de algunos áridos y los álcalis e hidróxido cálcico liberados durante la hidratación del cemento. Se forman así complejos geles de cal-álcali-sílice que al hincharse ante la presencia de agua ocasionan fuertes presiones internas en todas direcciones que finalmente rompen el hormigón.

La gestación de esos geles depende de numerosos factores, como son: cantidad, tamaño y naturaleza del material reactivo presente en los áridos; cantidad de cemento y su contenido en álcalis libres; cantidad de agua empleada en la confección del hormigón y álcalis que pueda contener, y por último los álcalis que puedan provenir del exterior.

La expansión como función de la cantidad de partículas reactivas de los áridos, no es constantemente creciente. La mayor expansión se produce en un intervalo que varía según el tipo de las materias reactivas y la cantidad de álcalis disponibles. La razón álcali-sílice existente en ese intervalo se denomina "proporción pésima". Puede presentarse así el caso de que reacciones alcalinas en estructuras de hormigón sean de tipo inofensivo por estar la razón álcali-sílice muy lejos de la "proporción pésima" aunque la cantidad de

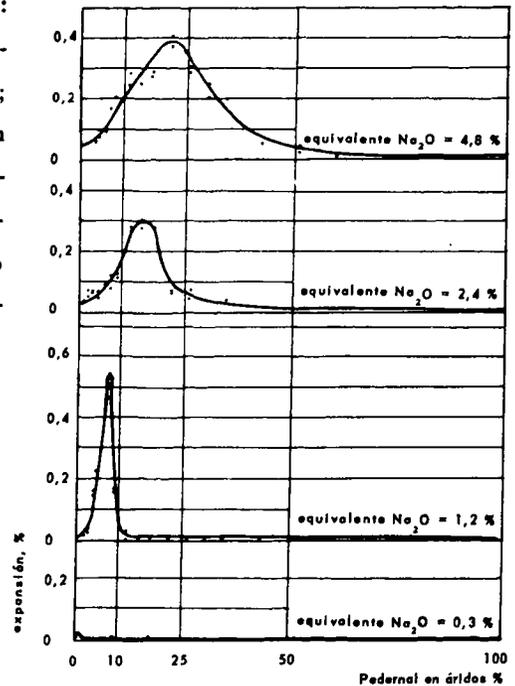


Fig. 2. Expansión de barras de mortero en función de la cantidad de material reactivo para cuatro contenidos diferentes de álcalis del cemento (expresado como Na_2O).

materias reactivas de los áridos sea considerable (figura 2).

Hay síntomas que permiten reconocer la presencia de reacciones alcalinas en las estructuras de hormigón. Las presiones internas causadas por los geles producen tensiones que el hormigón es incapaz de resistir, originando así agrietamiento en todas direcciones y en consecuencia una expansión que puede alcanzar en algunos casos a un 0,5% (5 mm/m). Los geles logran a veces aparecer a través de las grietas como exudaciones que en un comienzo se presentan transparentes, de aspecto viscoso, y luego, al secarse, se contraen tomando un color blanco. Es posible, sin embargo, que el agrietamiento causado por las reacciones alcalinas permita el acceso al interior del hormigón, de materias que provoquen otros tipos de reacciones químicas, disfrazando los síntomas y haciendo difícil el diagnóstico.

Aridos reactivos

Los minerales que participan en las reacciones alcalinas del hormigón consisten en sílice en estado amorfo ó criptocristalino como ópalo, calcedonia, tridemita, cristobalita. Se encuentran principalmente en rocas de origen ígneo, como ser: riolitas, dacitas, andesitas, algunos basaltos, etc. Estos tipos de rocas se encuentran por lo general en nuestro suelo especialmente en la zona cordillerana, por lo cual no es de extrañar que algunos áridos puedan resultar reactivos.

Contenido de álcalis de los cementos

El contenido de álcalis solubles de los cementos expresado como Na_2O ($\text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{K}_2\text{O}$) alcanza normalmente como máximo a un 1,5% del cemento. Por ensayos realizados en diversos laboratorios, se ha establecido que los cementos que contengan menos de 0,6% en equivalente a Na_2O (cementos de bajo contenido de álcalis) pueden considerarse aptos para ser mezclados con áridos reactivos. Por el contrario, aquellos cementos cuyo contenido de álcalis sea superior al límite indicado, son susceptibles de producir reacciones alcalinas dañinas en el hormigón al combinarse con los áridos calificados como reactivos. Sin embargo, algunos investigadores consideran muy alto 0,6% como límite de seguridad, debido a reacciones alcalinas expansivas producidas en ensayos de laboratorio con cementos de bajo contenido de álcalis.

La concentración de álcalis libres en el hormigón depende naturalmente también de la cantidad de cemento empleada en su confección. Un hormigón pobre en cemento, tendrá menos álcalis en solución para participar en reacciones dañinas con áridos agresivos y los peligros de expansión serán, consecuentemente menores.

El contenido de álcalis de los cementos nacionales fluctúa normalmente entre 0,15 y 1,20% en equivalente a Na_2O . El aumento en el porcentaje de agregados puzolánicos o de otra índole, efectuado por las diferentes fábricas de cemento en los últimos años, ha influido para que el contenido de álcalis solubles de sus productos disminuya levemente.

En ciertos casos, los álcalis que intervienen en estas reacciones químicas no provienen del cemento, sino de otras fuentes. Es posible que las aguas, los suelos y el aire salinos en contacto con el hormigón, y aun los mismos áridos, proporcionen los álcalis necesarios para reaccionar con los materiales reactivos.

Métodos de ensayo

Si los áridos que se emplean en la confección de un hormigón no poseen una "hoja de vida" que sirva de antecedente para conocer su carácter inocuo, es necesario someterlos a los ensayos pertinentes para evitar los posibles daños posteriores.

Para determinar la reactividad potencial de los áridos se han propuesto varios métodos, siendo los principales los indicados a continuación.

Examen petrográfico de los áridos

El examen minucioso macro y microscópico de los áridos permite obtener una primera impresión sobre su reactividad. Para ello se hace un análisis petrográfico que anota la presencia de materias consideradas reactivas o de carácter dudoso.

El método ASTM C 295 da una pauta para realizar este examen, llamando la atención sobre aquellas rocas y minerales que por lo general aportan sílice de tipo reactivo con los álcalis del cemento.

Ensayo de reactividad química potencial de los áridos

Es un método de ensayo relativamente rápido que indica si el árido contiene o no materias reactivas en su composición, aunque sin señalar ni su cantidad, ni su origen.

El método, según ASTM C 289, consiste en preparar porciones representativas del árido triturándolas a un tamaño uniforme comprendido entre 0,149 y 0,297 mm (mallas ASTM nº 100 y 50, respectivamente). Se añade a las muestras hidróxido sódico en solución que reacciona con el árido si éste contiene sílice soluble, formando un gel alcalino-silícico. El consumo de álcalis en ese gel reduce entonces la concentración de la solución original. Al terminar el tratamiento se mide la cantidad de sílice disuelta y la reducción en alcalinidad que ha sufrido la solución de hidróxido de sodio. Esos valores, llevados a

un gráfico de coordenadas, originan un punto que según quede a derecha o izquierda de una línea de demarcación empíricamente determinada, permite calificar al árido como reactivo o inocuo respectivamente. La línea de demarcación se basa en la relación entre sílice disuelta y reducción de alcalinidad (ver figura 3) y que se indica en las especificaciones para áridos del hormigón, ASTM C 33-57T, parte 4.

Para interpretar más eficazmente los resultados del ensayo químico, el laboratorio de The Division of Physical Research Bureau of Public Roads introdujo nuevas líneas de demarcación en el gráfico ya mencionado. En esa forma en el costado izquierdo, el área superior representa a los áridos que contienen constituyentes que interfieren en el ensayo (dolomita, carbonatos, serpentina, etc). El área inferior de este costado representa a aquellos áridos que pueden definirse con cierto grado de seguridad como inocuos. En el costado derecho, el área superior encierra a los áridos que contienen exceso de materias reactivas, lo que produciría en el hormigón reacciones no expansivas con los álcalis del cemento. Por su parte el área inferior recibe a aquellos agregados capaces de producir reacciones peligrosas en el hormigón.

Los resultados de ensayos químicos que queden marginales deben interpretarse con cierta reserva y, si es necesario, hay que recurrir a ensayos en barras de mortero.

Reactividad potencial según ensayos en barras de mortero

Es el método de ensayo que da mejor información respecto al posible desarrollo de reacción álcali-árido en el hormigón. Según ASTM C 227, consiste en preparar barras de mortero de 1''x1''x10'' (Fig. 4) y almacenarlas en recipientes especiales (Fig. 5) con temperatura de 38° C y ambiente húmedo. Periódicamente se mide las variaciones de longitud que experimentan las barras, observándose también los cambios en su aspecto superficial, (Fig. 6) Las barras que sufren expansiones de 0,05% o más a los 3 meses o de 0,1 o más a los seis meses, se

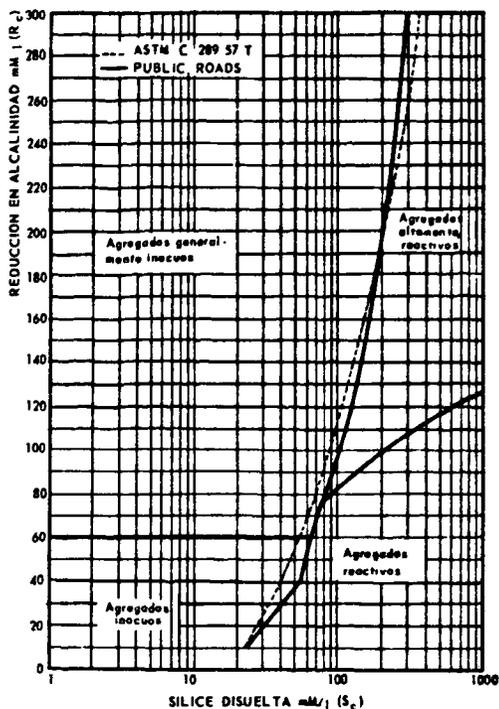


Fig. 3. Representación gráfica de la calificación reactiva de los áridos en base al ensayo químico.



Fig. 4. Barras confeccionadas y ensayadas en IDIEM con áridos reactivos de la zona de Antofagasta y cementos nacionales.

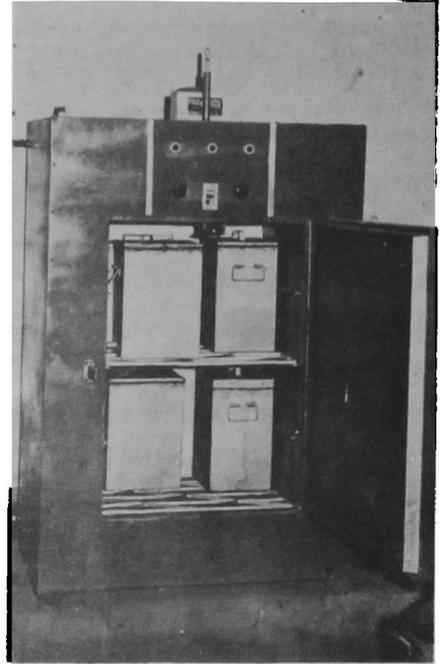


Fig. 5. Horno y recipiente para almacenamiento de barras de mortero en IDIEM.

consideran como afectadas por la reacción álcali-árido.

En el caso de los áridos de la Compañía Salitrera Anglo-Lautaro mencionado en la introducción las curvas de expansión obtenidas con este ensayo se muestran en la Fig. 7.

Conviene ensayar los áridos en estudio por una parte con cementos elegidos por su alto contenido de álcalis, para saber si son intrínsecamente reactivos; y por otra parte con los cementos que se usarán en obra para constatar que con ellos no se produce la reacción.

El árido grueso se chanca previamente a tamaño arena produciéndose luego una granulometría determinada. El árido fino en cambio, es ensayado manteniendo su granulometría original.



Fig. 6. Detalle de la Fig. 4.

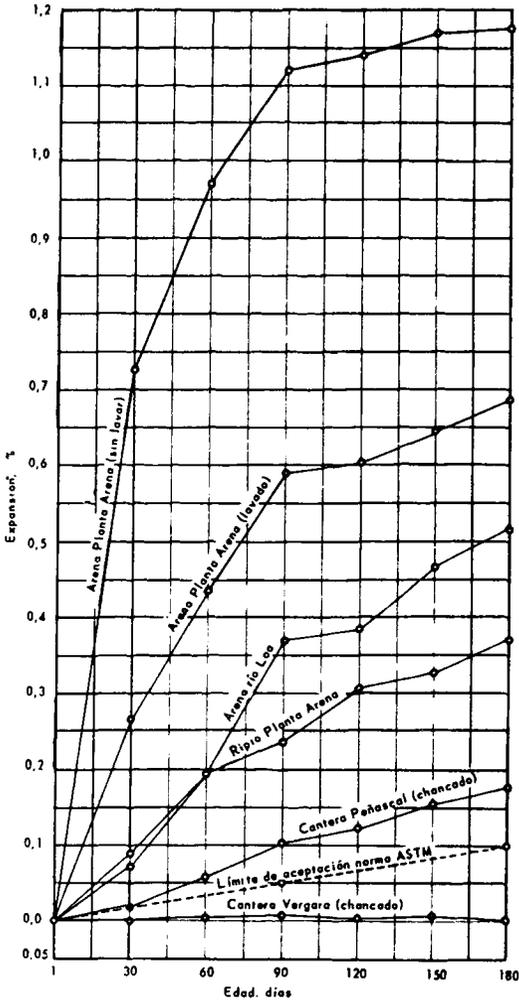


Fig. 7 Expansión de mortero preparado con áridos de la zona salitrera de Antofagasta y cemento nacional de alto contenido en álcalis. Ensayos realizados en IDIEM.

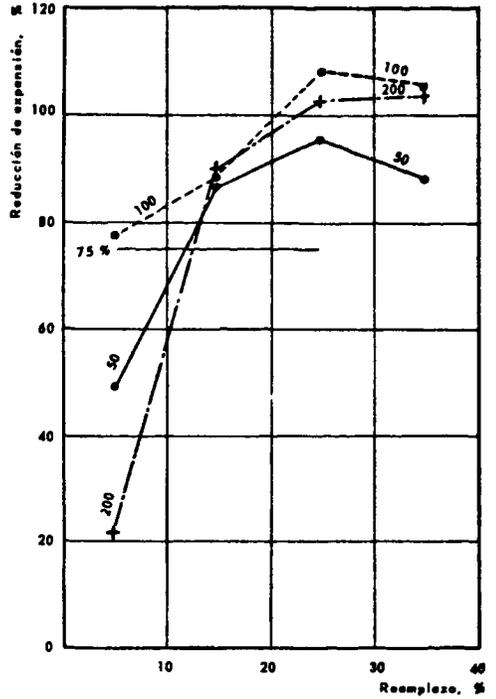
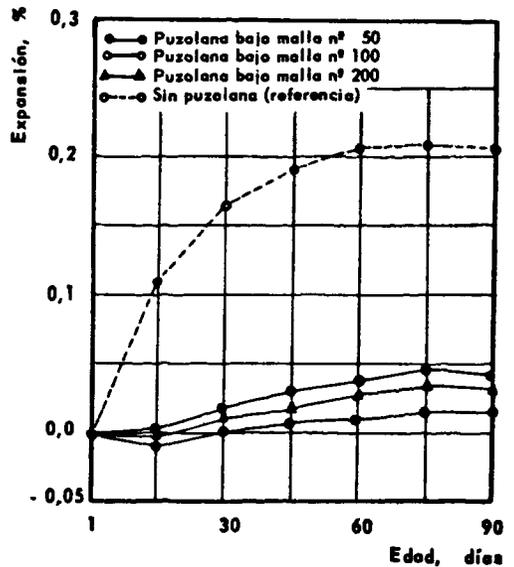


Fig. 8. Reducción de la expansión, a los 14 días de edad, de morteros preparados con vidrio Pyrex y cemento de alto contenido en álcalis. Efectos producidos por el reemplazo de diferentes porcentajes de cemento por tierra de diatomeas. La finura del material se indica con el número de la malla ASTM.

Fig. 9. Reducción de la expansión de mortero preparado con vidrio Pyrex y cemento de alto contenido en álcalis. Las líneas llenas señalan la expansión de las muestras de ensayo con un 25% de reemplazo de cemento por tierra de diatomeas procedente de la zona del río Loa (Antofagasta).



El largo período de tiempo que precisa la realización de este ensayo constituye su principal inconveniente. Se recurre a él cuando los ensayos mencionados anteriormente han dado resultados dudosos o de difícil interpretación.

Prevención de la reacción álcali-árido

En caso que no se pueda evitar el empleo de áridos reactivos, sus efectos se pueden disminuir hasta límites aceptables mediante el empleo de cementos de bajo contenido de álcalis, y si esto no es posible, no hay más recurso que el empleo de puzolanas comprobadas experimentalmente como reductoras de la expansión. Se tiene constancia que los materiales puzolánicos más eficaces para ello son los ricos en ópalo. Por orden de efectividad pueden nombrarse: los vidrios silícicos sintéticos, las arcillas calcinadas, las diatomitas, los vidrios volcánicos y finalmente las escorias y las cenizas volantes.

La aptitud de una puzolana para reducir la expansión puede comprobarse sólo experimentalmente (ASTM C 402-58T, párrafo i). Se emplea en este caso el ensayo con barras de mortero antes descrito, salvo que aquí se utiliza como árido reactivo normal, vidrio Pyrex u otro semejante, chancado a la granulometría especificada por el método. Se combina con cemento de alto contenido en álcalis para constituir muestras de referencia y para las muestras de ensayo se reemplaza cemento por puzolana en porcentajes diferentes, previamente elegidos. La diferencia de expansión, registrada a los 15 días, entre la muestra de referencia y cada una de las muestras de ensayo se considera como la reducción de expansión causada por la puzolana. Se califica a esta como efectiva, si en alguno de los porcentajes de sustitución la reducción alcanza a un 75% de la expansión producida en la muestra de referencia.

En las Figs. 8 y 9 se muestran los resultados obtenidos por el IDIEM con tierra de diatomeas de la cercanía del río Loa, estudio que se realizó en relación con los áridos reactivos de la Compañía Salitrera de Antofagasta.

BIBLIOGRAFIA RECOMENDADA

- 1.- BLANKS, R. F. and KENNEDY, H. L. "The technology of cement and concrete", Vol. I, Concrete Materials, John Wiley and Sons. New York, 1955, pp. 273-318.
- 2.- MATHER, B. "Petrographic identification of reactive constituents in concrete aggregates". Proceedings ASTM, vol. 48, 1949, pp. 1120-1125.
- 3.- WOOLF, D. O. "Reaction of aggregate with low alkali cement". Physical Research Branch Bureau of Public Roads. Public Roads, vol. 27, nº 3, agosto 1952, pp. 51-56.
- 4.- BLANKS, R. F. and MEISSNER, H. S. "The expansion test as a measure of alkali-aggregate reaction". Journal of the American Concrete Institute. vol. 17, nº 5, abril 1946, pp. 517-539.

- 5.- HANSEN, W. C. "Studies relating to the mechanism by which the alkali-aggregate reaction produces expansion in concrete". *Journal of the American Concrete Institute*, vol. 15, n° 3, enero 1944, pp. 213-227.
- 6.- POWERS, T. C. and STEINOUR, H. H. "An interpretation of published researches on the alkali-aggregate reaction". *Research and Development Laboratories of the Portland Cement Association. Research Department. Bulletin 55, Chicago, junio 1955.*
- 7.- BOSSCHART, R.A.J. "Alkali-Reaktion des Zuschlags im Beton". *Zement-Kalk-Gips*, marzo 1958, pp. 100-108.
- 8.- ASTM C 295-54 "Recommended practice for petrographic examination of aggregates for concrete". *ASTM Standards on Mineral Aggregates and Concrete*, septiembre 1958, pp. 573-582.
- 9.- ASTM C 289-57 T. "Tentative method of test for potencial reactivity of aggregates (chemical method)". *ASTM Standards on Mineral Aggregates and Concrete*, septiembre 1958. pp. 522-530.
- 10.- CHAIKEN, B. and HALSTEAD, W.J. "Correlation between chemical and mortar bar tests for potential alkali reactivity of concrete aggregates". *Division of Physical Research Bureau of Public Roads, Public Roads*, vol. 30, n° 8, junio 1959, pp. 177-184.
- 11.- MIELENZ, R.C. and WITTE, L.P. "Tests used by the Bureau of Reclamation for identifying reactive concrete aggregates". *Proceedings ASTM*, vol. 48, 1948, pp. 1104-1107.
- 12.- ASTM, C 227-58 T "Tentative method of test for potencial alkali reactivity of cement-aggregate combinations". *ASTM, Standards on Mineral Aggregates and Concrete*, septiembre 1958, pp. 514-521.
- 13.- ANDERSEN, J. and DITLEVSEN, L. "Methods for the determination of alkalies in aggregates and concrete". *Progress Report, Serie F, n° 3, 1958*, pp. 17-21.
- 14.- ASTM, C 33-57 "Standard specifications for concrete aggregates". *ASTM, Standards on Mineral Aggregates and Concrete*. septiembre 1958, pp. 457-462.
- 15.- LERCH, W. "Studies of some methods of avoiding the expansion and pattern cracking associated with the alkali-aggregate reaction". *Symposium on use of pozzolanic materials in mortars and concretes. ASTM, Special Technical Publication, n° 99, 1949*, pp. 153-177.
- 16.- MORAN, W. T. and GILLILAND, J.L. "Summary of methods for determining pozzolanic activity". *Symposium on use of pozzolanic materials in mortars and concretes". ASTM, Special Technical Publication n° 99, 1949*, pp. 109-120.
- 17.- BUCK, A.D.; HOUSTON, B.J. and PEPPER, L. "Effectiveness of mineral admixtures in preventing excessive expansion of concrete due to alkali-aggregate reaction". *U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station C.E. Vicksburg, Miss., Technical Report n° 6 -481, julio 1958.*

Mauricio OSSA M.

Constructor Civil, sección
Investigación de Hormigones. IDIEM.