

Influencia de los álcalis provenientes de fuentes distintas al cemento en la evolución de la reacción álcali-sílice

Influence of alkalis from different sources than cement in the evolution of alkali-silica reaction

C. OLAGUE*, G. WENGLAS*, P. CASTRO**

* Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua

** CINVESTAV-IPN Unidad Mérida

Fecha de recepción: 17-XII-02

Fecha de aceptación: 9-VI-03

MÉXICO

RESUMEN

Una revisión bibliográfica de la literatura existente permite mostrar las manifestaciones de reacción álcali-sílice (RAS) en estructuras de carreteras y el método práctico y económico de acetato de uranilo para confirmar la presencia de RAS. La existencia de la reacción en pavimentos de hormigón de la ciudad de Chihuahua se pudo confirmar tras la observación visual de modelos de grietas, estudios de depósitos de gel y existencia de fuentes de materiales reactivos.

Considerando que el cemento utilizado para construir los tramos de pavimento con problemas de RAS, era un cemento bajo en álcalis, se enfocó la investigación al estudio de la influencia de los álcalis provenientes de fuentes distintas al cemento en la evolución de la reacción tales como: a) áridos gruesos y finos, b) agua de mezclado, c) aditivos y d) adiciones minerales

El concepto inicial de clasificación de cementos altos y bajos en álcalis con respecto a la RAS debe ser revisado para aceptar el hecho de que no hay un solo límite máximo permisible de álcalis del cemento debajo del cual la reactividad expansiva no pueda ocurrir.

PALABRAS CLAVE: hormigón, deterioro en pavimentos, álcalis totales, sílice, áridos.

1. INTRODUCCIÓN

Desde que en 1940 Stanton (1) descubre la reacción álcali-sílice (RAS) se reconoce la influencia de tres factores fundamentales para que dicha reacción se

SUMMARY

A bibliographical revision of the existent literature allows showing symptoms of alkali-silica reaction (ASR) in highways, and the practical and economic method of uranyl acetate to confirm the presence of ASR. The existence of reaction in concrete pavements of Chihuahua City was verified by a visual observation of patterns cracks, examination of gel deposits and the presence of reactive materials.

Considering that the cement used to construct this pavements with problems of ASR, was low alkalis cement, the research was devoted to study the influence of alkalis coming from different sources than cement in the evolution of reaction such as: a) aggregates: gravel and sand, b) mix water, c) additives and d) minerals additions

The initial classification of cements like high and low alkalis concerned to ASR must be revised for accept the fact that there is not a unique maximum limit alkalis of cement under which the expansible reactivity cannot occur.

KEYWORDS: concrete, deterioration in pavements, total alkalis, silica, aggregates.

1. INTRODUCTION

Since in 1940 Stanton (1) discovers the alkali-silica reaction (ASR) it is recognized the influence of three fundamental factors in order to this reaction could

presente: áridos reactivos, medio ambiente, y cemento alto en álcalis. Stark (2), estudia la influencia de los álcalis y recomienda el uso de cementos con 0,6% o menos medidos en unidades de sodio equivalente, con el fin de evitar la RAS. Tales cementos llegaron a ser conocidos como cementos bajos en álcalis. Investigaciones adicionales (3,4) revelaron que el cemento puede no ser la única fuente de álcalis, encontrándose que el 0,6%, como límite máximo de álcalis, a menudo sólo redujo la reactividad expansiva, lo cual resulta engañoso, al creer que era seguro considerar cementos bajos en álcalis para evitar la RAS. Otra alternativa aceptada en Europa y Canadá, es la práctica de limitar el contenido de álcalis del concreto basado en los álcalis totales de los elementos del hormigón. En Europa y Canadá se usan áridos reactivos en el hormigón conteniendo menos de 3 kg/m³ de álcalis, aceptándose la posibilidad de que los álcalis provengan de fuentes internas y externas distintas al cemento. Las internas son: áridos, aditivos químicos y agua de mezclado, y las externas: sales de deshielo y agua de mar (5).

En 1999, Mather (6) señala la influencia de otros dos factores adicionales en la RAS: cantidad de productos de reacción y potencial de expansión de esos productos.

Con el fin de determinar la influencia que ejercen los álcalis provenientes de fuentes distintas al cemento se realizó una investigación consistente en determinar los álcalis por metro cúbico de hormigón en tramos de pavimentos de hormigón en los cuales, previamente, se habían detectado deterioros típicos de la RAS (7), no obstante después de haberse utilizado para la elaboración del hormigón un cemento con 0,4% de álcalis (7).

La detección de RAS se realizó utilizando la técnica del gel fluorescente (AASHTO T 299) (8), en corazones de hormigón provenientes de los tramos en estudio.

La determinación de los álcalis totales se realizó en base a la norma PNAP 180 (9), publicada en 1996 en Hong Kong por el Departamento de Construcción.

Se analiza la influencia de los álcalis totales en la severidad observada de la RAS.

2. EXPERIMENTAL

Se estudiaron 4 tramos de pavimentos de hormigón hidráulico construidos con el Cemento 2 (bajo en álcalis), a los cuales se les extrajo 3 corazones a cada uno. Para cada corazón se determinaron los álcalis totales en función de la norma PNAP 180 (9). La norma requiere la determinación de la cantidad de álcalis provenientes de los áridos y los aditivos,

occur: reactive aggregates, environment, and high alkalis cement. Stark (2) studied the influence of alkalis and he recommended the use of cements with 0.6% or less measured in equivalent sodium units, in order to avoid the ASR. Such cements were classified as low alkalis cements. Additional researches (3,4) revealed that the cement can not be the only source of alkalis, finding that 0.6% as maximum limit of alkalis frequently only reduced the expansible reactivity, that deceived in believing that it was safe to specify low alkalis cements in order to avoid ASR. Another alternative, accepted in Europe and Canada, is the practice of limiting the content of alkalis based on total alkalis of concrete. In Europe and Canada are used reactive aggregates in the concrete containing less than 3 kg/m³ of alkalis, being accepted the possibility that the alkalis come from internal and external sources, different than cement. The internals are: aggregates, chemical additives and mix water, and the external are: deicing salts and seawater (5).

In 1999 Mather (6) points out the influence of other two additional factors in the ASR: quantity of reaction products and potential of expansion of those products.

With the purpose of determining the influence of alkalis coming from different sources than cement was carried out an investigation in order to measure the alkalis for cubic meter of concrete, in concrete pavement that previously typical deteriorations of ASR were detected (7), despite of had used for making concrete a cement with 0.4% of alkalis (7).

The detection of ASR was carried out using the technique of fluorescent gel (AASHTO T 299) (8), in cores of concrete from site testing.

The determination of the total alkalis was carried out based on the norm PNAP 180 (9), published in 1996 by Hong Kong Department of Construction.

The influence of total alkalis is analyzed regarding to observed severity of ASR.

2. EXPERIMENTAL

Four streets of hydraulic concrete pavements constructed with Cement 2 (low in alkalis) were studied, three cores were extracted to each one. For each core the total alkalis were determined based on the norm PNAP 180 (9). The norm requires determine the quantity of alkalis from: aggregates and additives. That determination was realized according to atomic

determinación que se hizo conforme al método de absorción atómica. Las piezas de concreto fracturadas se examinaron para conocer la presencia de depósitos de gel. El material sospechoso de ser el gel de RAS se quitó y se examinó con un microscopio de polarización para determinar sus características ópticas. Lo primero que se debía determinar era la presencia del gel de RAS en las grietas de los corazones de hormigón estudiados. La presencia del gel en concretos se puede detectar usando la técnica del gel fluorescente (AASHTO T 299) (8), para determinar si los agrietamientos observados eran debidos al RAS. El método del gel fluorescente consiste en aplicar sobre el hormigón en estudio una solución de acetato de uranilo, la cual, en presencia del gel de RAS, aparece fluorescente bajo luz ultravioleta. El ion de uranilo reemplaza iones de álcali en el gel que es entonces visible, con una brillantez fluorescente en áreas bajo la iluminación ultravioleta. Todas las pruebas fueron efectuadas por triplicado rociándose con una solución de acetato de uranilo que, bajo una luz de rayos ultravioleta, muestra fluorescentes las grietas producidas por la expansión del gel. Una vez detectada la presencia del gel debía determinarse la cantidad de álcalis totales presentes en los hormigones para probar la hipótesis de que los álcalis provienen, además del cemento, de fuentes distintas, tales como los áridos mismos, los aditivos y el agua de mezclado y que influyen en la evolución de la RAS. De forma tal, que la RAS se puede presentar aun cuando se contemple un cemento bajo en álcalis; por lo tanto, debe especificarse también un contenido máximo de álcalis totales, el cual debe ser menor de 3 kg/m³, con el fin de evitar la RAS.

3. RESULTADOS

3.1. Selección de sitios de estudio

En 1998 (10, 11) se inició el estudio de la durabilidad de los pavimentos de hormigón construidos en la ciudad de Chihuahua, considerándose como una parte de la metodología lo relativo a la caracterización de los materiales. En relación a los áridos, mediante pruebas de examen petrográfico (ASTM C 295) (12) se detectó la presencia de calcedonia, andesita, cuarzo, líticos riolíticos y líticos andésíticos (18). Además, se consideró importante evaluar el contenido de álcalis en los cementos comúnmente utilizados en la ciudad de Chihuahua, los cuales son tres. El procedimiento seguido fue por fluorescencia de rayos X, los resultados se muestran en las Tablas 1 y 2. El cemento que se usó en la construcción de los pavimentos de hormigón hidráulico con presencia de agrietamientos típicos de la RAS (19) fue el Cemento 2. El estudio del Cemento 2 indicó un contenido de álcalis de 0,4282% medidos en unidades de sodio equivalente (7). Considerando las investigaciones anteriormente

absorption method. The fractured concrete pieces were examined to know the presence of gel. The suspicious material of gel was removed and it was examined with a polarization microscope to determine their optic characteristics. The first thing that should be determined was the presence of the gel of ASR in the cracks of the cores. The presence of gel can be detected using the technique of fluorescent gel (AASHTO T 299) (8) in order to determine if the observed cracking were due to ASR. The method of the fluorescent gel consists on applying on the concrete in study a solution of uranyl acetate which in presence of the gel of ASR it shows fluorescent under ultraviolet light. The uranyl ion replaces alkali ions in the gel that is then visible as fluorescent brightness in areas under the ultraviolet illumination. All the tests were made for triplicate. Each one of the samples were scattered with a solution of uranyl acetate, with a ultraviolet light show fluorescent the cracks generated by the expansion of the gel. After be confirmed the presence of the gel, the quantity of total alkalis should be determined in the concretes, in order to prove the hypothesis that the alkalis come besides of cement, from different sources such as: aggregates, additives and the mix water, influencing the evolution of ASR. In a such way that the ASR can still be present when a low alkalis cement is specified, therefore it should also be specified a maximum content of total alkalis which should be smaller than 3 kg/m³, with the purpose of avoiding the ASR.

3. RESULTS

3.1. Selection of sampling sites

In 1998 (10, 11) was started a research about durability of concrete pavements constructed in Chihuahua City, considering like a part of methodology the relative to characterization of materials. Regarding to aggregates based on petrographic examination test (ASTM C 295) (12) was detected the presence of chalcedony, andesites, quartz, lithic rhyolites and lithic andesites (18). It was also considered important to evaluate the content of alkalis in the cements commonly used in Chihuahua city, which are three. The procedure developed was for X Rays fluorescence, the results are shown in the Tables 1 and 2. The cement that was used in the construction of hydraulic concrete pavements, with presence of typical crackings of ASR (19) was the Cement 2. The study of the Cement 2 indicated a alkalis content of 0.4282% measured in equivalent sodium units (7). Considering the previously detailed investigations, we had reactive aggregates but low

TABLA 1/TABLE 1

Contenido de álcalis de los cementos estudiados (Na₂O equivalente)
Alkali content of the cement (Na₂O equivalent)

	Numero de muestra <i>Number of samples</i>	Na ₂ O	K ₂ O	Contenido de álcalis (%) <i>Alkalis content (%)</i> (Na ₂ O + 0.658 K ₂ O)
Cemento 1 <i>Cement 1</i>	3	0.45	0.73	0.9345
Cemento 2 <i>Cement 2</i>	3	0.06	0.57	0.4282
Cemento 3 <i>Cement 3</i>	3	0.73	0.99	1.3695

TABLA 2/TABLE 2

Análisis químico de los cementos estudiados, por fluorescencia de rayos X
Chemical analysis of the studied cements by X-ray fluorescence

Compuestos <i>Compounds</i>	Cemento 1 <i>Cement 1</i>	Cemento 2 <i>Cement 2</i>	Cemento 3 <i>Cement 3</i>
SiO ₂	19.56	20.14	19.94
Al ₂ O ₃	4.79	4.86	5.29
Fe ₂ O ₃	2.93	3.24	3.04
CaO	61.37	63.41	63.24
MgO	2.5	2.52	1.27
SO ₃	3.69	2.88	3.62
Na ₂ O	0.45	0.06	0.73
K ₂ O	0.73	0.57	0.99
TiO ₂	0.20	0.23	0.16
P ₂ O ₅	0.11	0.11	0.08
Mn ₂ O ₃	0.19	0.06	0.04
P.IGN	NC	NC	NC
Suma/Sum	96.52	98.08	98.41

detalladas, por un lado, teníamos áridos reactivos, pero se usó un cemento bajo en álcalis, bastante menor de 0,6%, límite considerado como seguro de tal manera que no debió presentarse la RAS, sin embargo, los agrietamientos en forma de mapa a los 3 años de construidos los pavimentos eran muy notorios, de manera que se hacía necesario determinar la causa real de la RAS observada.

La Figura 1 muestra los deterioros predominantes en cada una de las cuatro vialidades estudiadas, los cuales son típicos de la RAS.

3.2. Determinación de álcalis totales conforme a la norma PNAP180 (9)

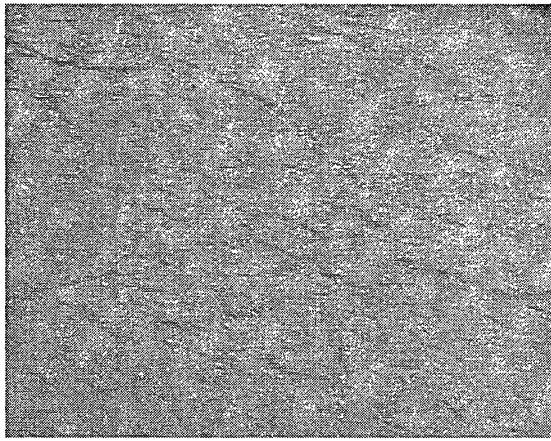
La Tabla 1 muestra la cantidad total de álcalis en cada uno de los cementos estudiados, medida en unidades de sodio equivalente. En la Tabla 2 se presenta el análisis químico de los tres cementos estudiados.

alkalis cement smaller than 0.6%, limit considered as safe, therefore the ASR should not be presented. However the cracking maps in 3 years were visibly, so that it was necessary to determine the real cause of observed ASR.

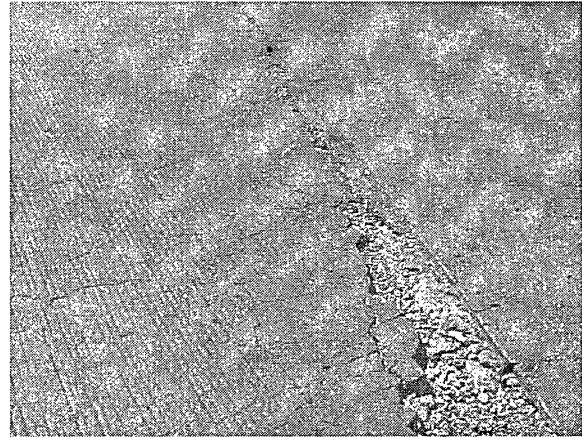
The Figure 1, shows the predominant deteriorations in each one of the four studied streets, which are typical of the ASR.

3.2. Determination of total alkalis according to the norm PNAP180 (9)

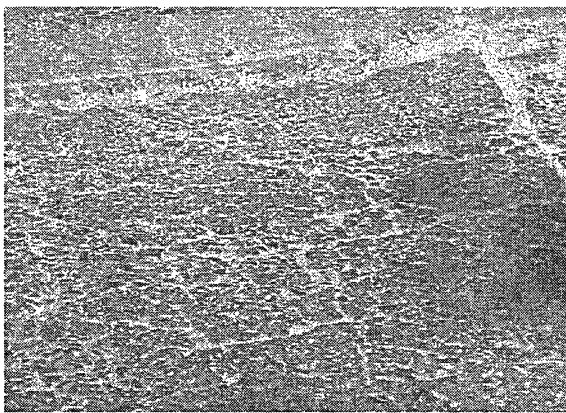
The Table 1 shows the total quantity of alkalis in each one of the cements studied measured in equivalent sodium units. In the Table 2 the chemical analysis of the three studied cements is presented.



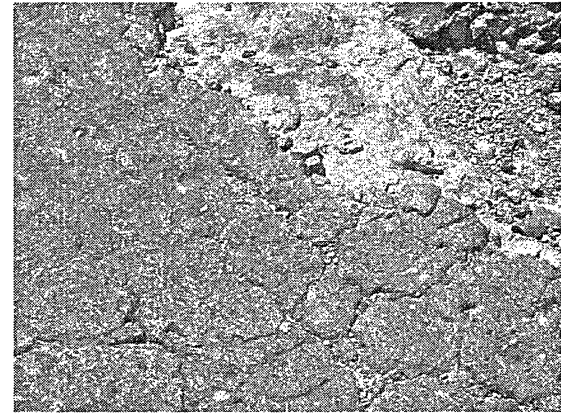
a) Calle/Street Ignacio Rodríguez (Periférico de la Juventud-Juan Escutia) (T-1-03).



b) Calle/Street Juan Escutia (Tecnológico-Periférico de la Juventud) (T-1-09).



c) Calle/Street A. de Córdoba (Tecnológico-Periférico de la Juventud) (T-1-10).



d) Calle/Street 38ª (Periférico Francisco Almada-Zaragoza) (T-3-01).

Figura 1.- Deterioros típicos en los tramos estudiados.

Figure 1.- Typical deterioration in studied sites.

En la Tabla 3 se muestra la cantidad de álcalis presentes en áridos y en aditivos utilizados para la construcción de los tramos de prueba. Los álcalis se determinaron a partir de los corazones extraídos, conforme al método de absorción atómica.

En 1996, el Departamento de Construcción de Hong Kong, especifica que en ausencia de medidas alternativas, el contenido de álcali reactivo expresado en unidades de sodio equivalente no debe exceder de 3 kg/m^3 . En la Tabla 4 se muestran los resultados de aplicar la norma PNAP 180 (9). La fuente primaria de álcalis es el cemento. La Tabla 4 muestra los álcalis totales derivados del uso de los 3 cementos que comúnmente se comercializan en Chihuahua. Se observa que, en el caso del Cemento 2, usado para la construcción de los pavimentos estudiados, los álcalis totales fueron de 1.3923 kg/m^3 . Otras fuentes internas

The Table 3 shows the quantity of present alkalis in aggregates and additives used for the construction of sampling sites. The alkalis were determined from extracted cores according to atomic absorption method.

In 1996, the Hong Kong Department of Construction specifies that in absence of alternative measures, the content of reactive alkalis expressed in equivalent sodium units should not exceed of 3 kg/m^3 . In the Table 4 the results of applying the norm PNAP 180 are shown. The primary source of alkalis is the cement. The Table 4 shows the total alkalis derived of use the 3 cements that commonly are marketed in Chihuahua. It is observed that in the case of the Cement 2 used for the construction of the studied pavements the total alkalis were of 1.3923 kg/m^3 . Other internal sources of alkalis are: aggregates, additives and mineral

TABLA 3/TABLE 3

Álcalis presentes en agregados y aditivos, por el método de absorción atómica
Alkalis presents in aggregates and additives, by absorption atomic method

Árido y aditivo <i>Aggregate and additive</i>	K ₂ O	Na ₂ O	Na ₂ O (equ %)
Caliza 3/8'' <i>Lime 3/8''</i>	0.0432	0.0290	0.0574
Arena de río <i>River sand</i>	0.1420	0.0491	0.1425
Superplastificante <i>Superplasticizer</i>	0.1073	1.6188	1.6894
Agente reductor de agua <i>Water reducer</i>	0.4852	0.4949	0.8142

Fuente: Cimav (Método - ² Absorción Atómica)

Source: Cimav (Method - ² Atomic Absorption)

de álcalis son: áridos, aditivos y adiciones minerales. Destaca el aporte de álcalis provenientes de la arena de río utilizada para elaborar el hormigón hidráulico de los tramos estudiados, el cual fue de 1,3965 kg/m³, seguido de los aportados por árido grueso, de origen calizo, triturado, de tamaño máximo de 3/8 de pulgada, siendo de 0,5941 kg/m³. Aunque en menor cantidad, también contribuyen los aditivos: superplastificante con 0,0519 kg/m³ y reductor de agua con 0,0144 kg/m³. Por último conforme lo marca la norma PNAP 180 (9), también se estimó el aporte de álcalis del agua de mezclado. Analizando la alcalinidad del agua en la ciudad de Chihuahua se obtuvieron datos del acuífero Chihuahua-Sacramento el cual dio un valor de 286,64 mg/l, de acuerdo a la dosificación del hormigón en estudio tenemos 167 l/m³, por lo tanto, los álcalis totales son de 0,0473 kg/m³.

3.3. Ensayos de SEM (Microscopia Electrónica de Barrido) en grietas

La Figura 2 muestra los resultados del análisis de grietas y la presencia de elementos reactivos en los productos de reacción, obtenidos mediante la

additions. It is noticed the contribution of alkalis coming from river sand used to elaborate the hydraulic concrete of sampling sites, which were of 1.3965 kg/m³, followed by those contributed by lime coarse aggregate of crushed stones with maximum size of 3/8 inch, being of 0.5941 kg/m³ and water reducer with 0.0144 kg/m³. Finally as the norm PNAP 180 indicate (9), also was considered the contribution of alkalis of the mix water. Analyzing the alkalinity of water in Chihuahua City, based on data of Chihuahua-Sacramento aquifer was obtained a value of 286.64 mg/l, according to the dosage of the concrete it has 167 l/m³, and therefore the total alkalis are 0.0473 kg/m³.

3.3. Tests of SEM (Scanning Electronic Microscopy) in cracks

The Figure 2 shows the results of the analysis of cracks and the presence of reactive elements in the products of reaction, obtained through SEM. This figure shows a

TABLA 4/TABLE 4

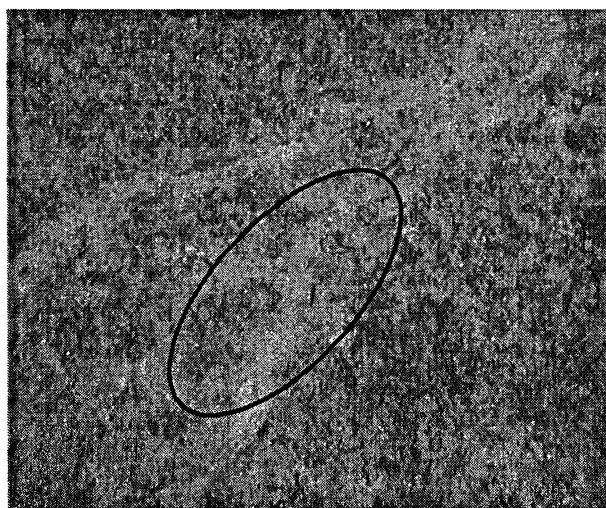
Resultados de álcalis totales en kg/m^3 de constituyentes del hormigón conforme a la norma PNAP180

Results of total alkalis in kg/m^3 from constituents of concrete according to the norm PNAP 180

Constituyentes del hormigón <i>Constituents of concrete</i>	Álcalis totales kg/m^3 <i>Total alkalis kg/m^3</i>
Cemento 1/ <i>Cement 1</i>	2.9769
Cemento 2/ <i>Cement 2</i>	1.3923
Cemento 3/ <i>Cement 3</i>	4.4204
Arena de río/ <i>River sand</i>	1.3965
Caliza 3/8''/ <i>Lime 3/8''</i>	0.5941
Súper plastificante/ <i>Superplasticizers</i>	0.0519
Agente reductor de agua/ <i>Reducer water</i>	0.0144
Agua/ <i>Water</i>	0.0473

utilización del microscopio electrónico de barrido. Esta figura muestra un resultado tipo correspondiente al tramo T1-03-1, indicándose, en la figura, el sitio de donde se tomo la muestra en el corazón de hormigón.

typical result corresponding to the sample T1-03-1, being indicated in the figure the place where was taken the sample in the concrete core.



Elemento/ <i>Element</i>	Peso (%) / <i>Wt (%)</i>	At%
C	19.53	30.06
O	44.83	51.80
Na	0.65	0.53
Mg	1.57	1.20
Al	1.34	0.92
Si	3.56	2.35
P	0.17	0.10
S	0.11	0.06
K	0.94	0.44
Ca	26.92	12.42
Fe	0.37	0.12
Total	100.00	100.00

Figura 2.- Zona seleccionada para estudio SEM en muestra T-1-03-1, se tiene Si = 2,35, Na = 0,53 y K= 0,44 en número atómico (At%), todos elementos del producto de ASR ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Figure 2.- Zone selected for examination SEM in sample T-1-03-1, it has Si=2.35, Na= 0.53 y K: 0.44 in atomic number (At%), all elements of ASR products ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

3.4. Ensayos de la técnica del gel fluorescente (AASHTO T 299) (8)

La Figura 3 muestra los resultados del examen de los corazones de hormigón extraídos de cada uno de los tramos estudiados, evidenciándose la presencia del gel al observarse fluorescencia con la luz ultravioleta. En la parte b de la Figura 3 se observan áreas verdes-amarillas, presencia de concentraciones del gel RAS; nótese la flecha indicando en la periferia del árido el producto de RAS.

3.5. Examen petrográfico de hormigones (ASTM C 856) (20)

Se realizaron 12 láminas petrográficas, las cuales muestran presencia de elementos reactivos, tal y como se aprecia en los resultados de la Tabla 5.

4. DISCUSIÓN

Se pudo observar que los álcalis aportados por los áridos tienen una influencia importante en el desarrollo de la reacción, en el caso de la arena es de $1,4 \text{ kg/m}^3$ y, en el de la grava, $0,6 \text{ kg/m}^3$. Para el hormigón construido con Cemento 1, un 39% de los álcalis totales calculados de acuerdo a la norma PNAP 180 (9), provienen de los áridos, en el caso de utilizar el Cemento 2, un 57% y, para el Cemento 3, un 31%. Si bien el Cemento 2, con el cual fueron construidos los tramos en estudio, tiene un 30% menos de álcalis del máximo permitido, al calcular los álcalis totales de acuerdo a la norma PNAP 180 (9), dieron un total de $3,5 \text{ kg/m}^3$, mayor de 3 kg/m^3 , máximo permitido para evitar RAS.

3.4. Tests of the technique of fluorescent gel (AASHTO T 299) (8)

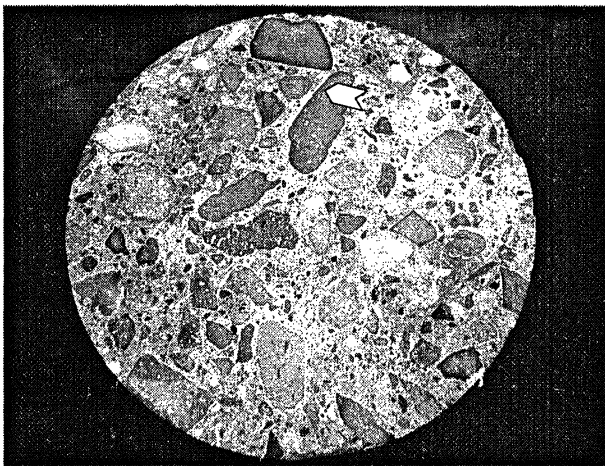
The Figure 3 shows the results of examination core concrete for each one sampling sites, being evidenced the presence of gel when it is observed fluorescent under ultraviolet light. In the parenthesis b of the Figure 3 green-yellow areas are observed presence of concentrations of ASR gel, notice you the arrow indicating in the edge the ASR product.

3.5. Petrographic examination of concrete (ASTM C 856) (20)

They were carried out 12 petrographic sheets which show presence of reactive elements just as shows the Table 5.

4. DISCUSSION

It could be observed that the alkalis coming from aggregates have an important influence in development of reaction. The sand contributes with 1.4 kg/m^3 , and the gravel with 0.6 kg/m^3 . For the concrete constructed with Cement 1, 39% of the total alkalis, calculated according to the norm PNAP 180, (9) comes from the aggregates, in the case of using the Cement 2, was 57% and for the Cement 3 was 31%. Although Cement 2 has 30% less than maximum allowed alkalis, when the total alkalis were calculated according to the norm PNAP 180 (9) they gave a total of 3.5 kg/m^3 , bigger than 3 kg/m^3 allowed maximum to avoid the ASR.



a) Localización de la partícula reactiva (flecha), en fotografía con luz ordinaria.
a) Identification of reactive particle (arrow), in photograph with ordinary light.



b) Muestra después del tratamiento con acetato de uranio y bajo luz UV.
b) Sample after treatment with uranyl acetate, under UV light.

Figura 3.- Análisis de la muestra T-3-01-1 conforme a la técnica del gel fluorescente (AASHTO T 299).

Figure 3.- Analysis of sample T-3-01-1, according to the technique of fluorescence gel (AASHTO T 299).

TABLA 5/TABLE 5

Resultados del examen petrográfico de corazones de hormigón (ASTM C 856)
Results of petrographic examination concrete cores (ASTM C 856)

Examen petrográfico/Petrographic examination (ASTM C 856)				
Tramos estudiados <i>Sampling sites</i>	Minerales potencialmente reactivos <i>Potentially reactive minerals</i>	%	Minerales bajamente reactivos <i>Low reactive minerals</i>	%
Tramo <i>Tram T-1-03</i>	Calcedonia <i>Chalcedony</i>	0.75	Cuarzo sujeto a esfuerzo <i>Quartz under effort</i>	0.47
	Andesita <i>Andesite</i>	18.14	Granito <i>Granite</i>	1.29
	Riolita <i>Rhyolite</i>	25.27		
Tramo <i>Tram T-1-09</i>	Calcedonia <i>Chalcedony</i>	0.88	Cuarzo sujeto a esfuerzo <i>Quartz under effort</i>	1.57
	Andesita <i>Andesite</i>	2.09	Granito <i>Granite</i>	0.0
	Riolita <i>Rhyolite</i>	13.5		
Tramo <i>Tram T-1-10</i>	Calcedonia <i>Chalcedony</i>	0.64	Cuarzo sujeto a esfuerzo <i>Quartz under effort</i>	0.86
	Andesita <i>Andesite</i>	1.07	Granito <i>Granite</i>	0.0
	Riolita <i>Rhyolite</i>	13.56		
Tramo <i>Tram T-3-01</i>	Calcedonia <i>Chalcedony</i>	1.94	Cuarzo sujeto a esfuerzo <i>Quartz under effort</i>	1.28
	Andesita <i>Andesite</i>	8.43	Granito <i>Granite</i>	0.43
	Riolita <i>Rhyolite</i>	41.28		

El agua contenía cierta cantidad de álcalis, contribuyendo con 0,0473 kg/m³, siendo la que menos influye en una mezcla de hormigón. Los álcalis totales detectados en los hormigones estudiados fueron suficientes en todos los casos para contribuir a la RAS, aun cuando se haya tratado un cemento bajo en álcalis.

La norma PNAP180 (9) resultó adecuada para la determinación de los álcalis totales.

Del análisis conjunto de las pruebas realizadas: examen petrográfico de áridos, análisis químico del cemento, estudios de depósitos en grietas, y el método del gel fluorescente, es posible detectar, en estructuras, la presencia de la RAS, con el fin de determinar acciones para inhibir la evolución de la misma. La técnica del gel fluorescente resultó bastante fiable para detectar la RAS en campo.

5. CONCLUSIONES

El contenido máximo de álcalis no puede ser definido como tradicionalmente había sido de 0,6%, sino que deben hacerse estudios para definir un porcentaje

The water contained certain quantity of alkalis contributing with 0.0473 kg/m³, being that fewer contribute in a mixture concrete. The total alkalis detected in concrete cores were enough in all the cases to contribute the ASR, still when they have been specified low alkalis cement.

The norm PNAP 180 (9) was appropriate to determine the total alkalis.

Of the combined analysis of the carried out tests: petrographic exam of aggregates, chemical analysis of the cement, studies of deposits in cracks, and the fluorescent gel method, it is possible to detect in structures the presence of the ASR in order to determine actions to inhibit the evolution of the reaction. The technique of the fluorescent gel was reliable to detect the ASR in field.

5. CONCLUSIONS

The maximum content of alkalis can not be defined as traditionally it had been of 0.6%. It must be made researches to define a safe percentage, in function of

seguro, en función del tipo de árido, agua de mezclado, aditivo, adiciones minerales utilizadas y condiciones climáticas del entorno.

La RAS debe ser estudiada con base a un conjunto de pruebas que analicen los principales factores que influyen en la reacción: áridos reactivos y álcalis totales, ambos en cantidades suficientes. Además deben considerarse las condiciones críticas de humedad relativa y temperatura interna del hormigón.

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren mostrar su agradecimiento a Amilcar Quintero, quien realizó las pruebas de este estudio, y a la UACH, al CINVESTAV Unidad Mérida, al CIMAV, al Consejo de Recursos Minerales del CECH, y al Grupo Cementos de Chihuahua por el apoyo parcial prestado para el estudio de la presente investigación. Los puntos de vista expresados aquí son de los autores y no necesariamente el de las instituciones que dieron su apoyo.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) Stanton, T. (1940) "Expansion of Concrete through Reaction Between Cement and Aggregate," proceedings, ASCE, V.66, dec., pp. 1781-1812.
- (2) Stark, D. (1978). "Alkali-Silica Reactivity in the Rocky Mountain Region," Proceedings, 4th International conference on effects of Alkalies in Cement and concrete; Purdue University, pp. 235-243.
- (3) Stark, D. (1980) "Alkali-silica reactivity: some reconsideration, cement concrete and aggregates", CCADGDP, vol. 2, pp. 92-94.
- (4) Stark, D., and Bhatt, M. (1986). "Alkali-Silica Reactivity: Effect of Alkali in Aggregate on Expansion," Alkalies in concrete STP-930, ASTM, Philadelphia, pp. 16-30.
- (5) Neville A. M. (1999). «Tecnología del hormigón». IMCYC, ISBN 968-464-092-7 México.
- (6) Mather B. (1999). «How to make concrete that will not suffer deleterious alkali-silica reaction». Cement and Concrete Research 29, Pergamon, pp. 1277-1280.
- (7) Caballero, E. (1999). "Evaluations of materials for detecting potentially Reactive Aggregates in Concrete Pavements". M. Eng. Thesis, Maestría en Vías Terrestres, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chihuahua, Chihuahua, México, 1999 pp. 90.
- (8) AASHTO T 299-93 (1993). "Rapid identification of alkali silica reaction products in concrete". Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing, part II test. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington D. C.
- (9) PNAP 180 Building Depart. (1996). "Alkali-aggregate reaction in reinforced concrete structures" Building Depart. Hong Kong.
- (10) Olague C., Almaral J., y Castro P. (1998). "Metodología para caracterización química y física de áridos utilizados en pavimentos rígidos». VIII Encuentro de Investigadores del Estado de Chihuahua, diciembre, Chihuahua, México
- (11) Olague C., Castro P., y Caballero E. (1998). "Evaluación de bancos de materiales para determinar la existencia de compuestos que puedan generar una reacción álcali-árido en pavimentos de hormigón hidráulico en el estado de Chihuahua". VIII Encuentro de Investigadores del Estado de Chihuahua, diciembre México.
- (12) American Society of Testing and Materials (1990). «ASTM C 295-90, standard guide for petrographic examination of aggregates for concrete», Annual Book of Standards, Vol. 4.02 Construction, pp. 176-183.
- (13) Olague C., López W., y Castro P. (1999a). «Caracterización de la reactividad potencial de áridos para uso en pavimentos rígidos de la ciudad de Chihuahua en México». V Congreso Iberoamericano de Patología de las Construcciones. Montevideo, Uruguay.
- (14) Olague C., López W., y Castro P. (1999b). «Reactividad potencial de los áridos para uso en pavimentos rígidos, con la norma ASTM C289». Congreso de la Sociedad Mexicana de Electroquímica, Yucatán, México.
- (15) Olague C., Castro P., y López W. (2000). «Caracterización, de la reactividad potencial de áridos en Chihuahua, México». Memoria XX Reunión Nacional de Mecánica de Suelos. Oaxaca, México
- (16) Olague C., Castro P., y López W. (2001). «Alkali silica reactive of aggregates in the state of Chihuahua, México». International Congress of International Road Federation. Paris France.
- (17) Olague C., Bojorquez R., y Castro P. (2001) «Application of a methodology for evaluating concrete pavements with durability criteria. International Congress of International Road Federation. Paris, France.
- (18) Almaral, J. (1999). "Physical and Chemical Characterization of aggregates for Concrete Pavements ". M. Eng. Thesis. Maestría en Vías Terrestres, UACH, Chihuahua, México pp. 138.
- (19) Valdivia V. (1999). «Análisis de la eficiencia de las juntas en los pavimentos de concreto hidráulico considerando criterios de durabilidad» Tesis de grado de maestría, Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México.
- (20) American Society of Testing and Materials (2000). «ASTM C 856, standard practice for petrographic examination of hardened concrete», Annual Book of Standards, Vol. 4.02 Construction, pp. 414-426.

type of aggregates, mix water, additives, mineral additions and climatic conditions of the environment.

The ASR should be studied based on a group of tests that analyze the main factors that influence in the reaction: Reactive aggregates and total alkalis, both in enough quantities. Also should be considered the critical conditions of relative humidity and internal temperature of concrete.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are in debt with Amilcar Quintero who carried out the tests of this study, and to the UACH, to the CINVESTAV Unit Merida, to the CIMAV, to the Council of Mineral Resources of the CECH, and to the Group Cements of Chihuahua for the partial support granted for the present investigation. The points of view expressed here belong to the authors and not necessarily that of the institutions that gave their support.