AN EXPERIMENTAL STUDY OF METHODS FOR SEALING CONCRETE BLOCK PAVEMENTS [1] [2]

Brian SHACKEL
School of Civil and Environmental Engineering
UNIVERSITY OF NEW SOUTH WALES - UNSW
Sydney, Australia

SUMMARY

This paper describes an experimental study of methods for preventing or minimizing water penetration into concrete block pavements - CBP. In these trials special jointing sands and surface sealants were studied both singly and in combination. The sealants included proprietary products and commonplace engineering materials such as bituminous binders and emulsions.

The trial pavements were constructed in the laboratory and were subjected to a range of simulated rainfalls in a specially constructed test rig. The rig enabled both surface runoff and infiltration to be monitored separately.

The research confirmed that newly-constructed CBP is partially permeable to water. All of the sealants studied substantially reduced the permeability of the paving. However, except for the bituminous seals, none of the sealants totally eliminated water infiltration whether used individually or in combination.

1. INTRODUCTION

Although relatively little is known about the movement of water into CBP [1] it has been shown that significant infiltration of rainwater through CBP may occur. For example, in the Netherlands up to 45 % of the annual rainfall has been reported to penetrate CBP [2]. Despite this, sealing concrete block pavements against water ingress is a relatively new concept. Indeed, the great majority of block pavements worldwide have been constructed and have served satisfactorily without being sealed. The concept of sealing appears largely to be a by-product of the use of sealants in CBP airport pavements to protect the jointing sand against propeller wash or jet blast. In this respect Emery [3] reported that the use of liquid pre-polymers not only protected the jointing sand against erosion but also reduced the infiltration of water, aviation gas, petrol and diesel to negligible proportions. Recently there has been a proliferation of sealants which claim both to enhance the appearance of CBP and to prevent water penetration and it is desirable to determine the utility of such products.

Emery [3] reported that the use of a solvent-based sealant prevented infiltration. By contrast, studies by Shackel and Yamin [4] showed that a water-based sealant reduced but did not eliminate water penetration. In this work the sealant was applied to a pavement having 3 mm wide joints and laid to a cross-fall of 2 %. For rainfall periods less than one hour, the runoff from the sealed pavement was up to 40 % higher than for an unsealed pavement and the infiltration was only about 20 % of that of the unsealed pavement. After one hour the joints gradually became saturated and the infiltration rose to approximately 50 % of that measured in an unsealed pavement. This was accompanied by a corresponding increase in surface runoff of between 5 % to 10 % relative to the unsealed pavement.

It may be seen that, hitherto, information on the benefits of using sealants has been contradictory or inconclusive. Accordingly, it was decided to conduct further studies of this problem at the University of New South Wales - UNSW, Sydney. These studies set out to evaluate the full range of sealants that were commonly available. These comprised

1. Water-based sealants applied to the pavement surface and joints after compaction.
2. Solvent-based sealants also applied to the pavement after compaction.
3. Jointing sands containing polymers, cellulose or other compounds designed to prevent water movement once they are activated by contact with water.

All of the sealants tested were proprietary products with little reliable information published about their composition or engineering properties. However, some generic information on liquid sealants has been assembled by ICPI [5] and details of some special jointing sands have been published by Maya [6] and Imazu [7].

2. TEST PROCEDURES

The procedures adopted in the UNSW trials involved constructing 1,5 m square areas of CBP in a steel box which could then be placed at any required crossfall beneath a rainfall simulator. The equipment is illustrated schematically in Figure 1. To simulate rainfall a series of closely spaced water jets fed from a constant head water tank discharged onto a fine nylon mesh placed 0,6 m above the pavement to be evaluated. This system gave a uniformly distributed simulation of rainfall across the CBP surface. The steel box containing the CBP was ar-

---

1 The editors used the International System of Units (SI) in this book of Proceedings, and the comma "," as the Decimal Marker. Each paper is presented first in English and then in Spanish, with the Tables and Figures, in both languages, placed in between. The References are include only in the original version of each paper.

2 This is the original version of this paper.

ranged so that water draining through the bedding sand and runoff from the pavement surface could be collected and measured separately.

The simulator was adjusted to apply a nominal rainfall intensity of 80 mm/h (a high rainfall for much of Australia). This simulated rainfall intensity was used throughout all the tests described herein. The crossfall of the test pavements was approximately 0,5 %. This is much less than the fall of 2 % normally considered to be the minimum needed to achieve good surface runoff in CBP. Thus the test conditions were designed to promote water infiltration into the pavements.

The pavers used were 60 mm thick Category A shaped pavers laid in herringbone bond with the major axes of the pavers lying either along or across to the crossfall. The average joint width was approximately 3 mm (Australian practice requires joints widths between 2 mm and 5 mm).

3. MATERIALS

Two proprietary jointing sands were selected for evaluation. These contained unspecified proprietary water activated sealants and are hereinafter referred to as Sands A and B. As the basis of comparison, Sydney sand, a product widely used for CBP construction was used for both bedding and jointing the reference or control pavements. The gradings of the materials are given in Figure 2.

In the case of liquid sealants, both solvent and water-based proprietary sealants were studied. The use of conventional engineering materials such as bituminous emulsions and clear asphalt were also examined.

4. EXPERIMENTAL WORK

The experimental work served two objectives; These were:

1. To measure the effectiveness of both surface sealants and proprietary jointing sands in reducing the infiltration of simulated rainfall into a variety of test pavements.
2. To measure the engineering properties of the jointing sands.

4.1 RESPONSE OF PAVEMENTS TO SIMULATED RAINFALL

The temporal variation of both runoff and infiltration for pavements bedded and jointed with Sydney sand are shown in Figure 3. From this figure, it may be seen that a steady state of runoff and infiltration was established after about one hour of rainfall. Thereafter, just over 25 % of the rainfall penetrated the joints of the pavement. The main objective of the experiments was to evaluate the extent by which this infiltration could be reduced by the use of surface sealants and/or proprietary jointing sands.

4.2 THE USE OF SURFACE SEALANTS

Two sealants supplied by the same manufacturer were evaluated. One was water-based whilst the other was solvent-based. Both of these sealants were applied according to the manufacturer's recommendation which was to squeegee the sealants across the CBP surface so that the joints were flooded along the chamfers between the pavers, thereby encouraging the sealants to penetrate the jointing sand. Inspection showed that, typically, the sealants penetrated the top 30 mm to 40 mm of the joints. The pavements were allowed to cure for at least 24 h before testing.

The effects of the sealants on the infiltration of water into the test pavements are shown in Figure 4. From this figure it may be seen that the solvent-based sealant was more effective than the water-based sealant in reducing infiltration but that neither of the sealants stopped infiltration completely. Rather, the infiltration of water measured for CBP with normal untreated jointing material was reduced by not more than about 25 % once the sealants had been applied. This was consistent with earlier research which showed that the use of an another water-based sealant only reduced the water penetrating CBP by about 50 % but did not eliminate infiltration [4].

4.3 THE USE OF PROPRIETARY JOINTING SANDS

The effects of filling the joints of the pavements with the proprietary jointing sands are shown in Figure 5. From this figure, it may be seen that the use of the proprietary sands reduced the infiltration of water by between approximately 50 % and 65 %. However, as in the case of the surface sealants, infiltration was not totally eliminated by either of the materials tested.

It was not clear what the effects of long-term wetting or drying of the proprietary sands might be. To study this the pavements were alternately dried or flooded to a depth of about 5 mm whilst drainage was prevented. The results of these experiments are summarized in Figures 6 and 7. In general, neither prolonged flooding or drying had any significant effect on the infiltration performance of the two proprietary sands studied.

4.4 THE COMBINED USE OF SEALANTS AND PROPRIETARY SANDS

Because neither the seals nor the proprietary sands succeeded totally in preventing water infiltrating the pavements it was decided to examine the effects of using the water-based sealant on a pavement which already incorporated Sand A as a sealing measure. As shown in Figure 8, the application of the sealant reduced the infiltration by about 50 % but, surprisingly, still did not completely eliminate it.

4.5 THE USE OF CONVENTIONAL ASPHALT SEALANTS

Areas of CBP have been successfully sealed as a

construction expedient at both Cairns and Melbourne international airports using bituminous emulsions sprayed over the surface. These areas have remained impermeable for periods of up to about 6 years. For this reason, trials of an anionic emulsion mopped undiluted over pavers bedded and jointed using Sydney sand were conducted. This treatment totally eliminated water penetration but had the drawback of unsatisfactory aesthetics by masking the colours and textures of the pavers. To determine whether this drawback could be overcome, a further trial was performed using Shell Mexphalte C, a clear synthetic bitumen. This was acceptable aesthetically. As in the case of the emulsion, this sealant totally prevented water infiltration.

Neither the emulsion nor Mexphalte C penetrated any significant depth into the jointing sand. Rather, the materials formed a thin crust or film over the pavers and joints. Although this was protected from traffic scuffing by the chamfers, nevertheless it proved vulnerable to back pressures in the bedding and jointing sands which caused the film to lift and blister at heads greater than about 1 m. Moreover, neither of the bituminous materials would be expected to be resistant to fuel or oil spillage.

4.6 ENGINEERING PROPERTIES OF THE PROPRIETARY JOINTING SANDS

The properties of the proprietary sands were measured in terms of their shear strengths using conventional shear box tests and their permeabilities using a constant head permeameter.

4.6.1 SHEAR BOX TESTS

Samples of the proprietary jointing sands were tested dry and after thorough mixing with 2 %, 4 % and 8 % of water. The samples were evaluated in a 100 mm x 100 mm shear box to determine their shearing resistance and cohesion. The angles of shearing resistance, ϕ, are summarised in Table 1 and the development of cohesion with moulding moisture is shown in Figure 9.

Values of the angle of shearing resistance, ϕ, previously reported for bedding and jointing sands for CBP have ranged from 30 ° to 44 ° [8]. The values of ϕ shown in Table 1 may, therefore, be seen to be typical of those to be expected. Normally the bedding and jointing sands used in CBP are required to be substantially free of any plastic clay component and, accordingly, do not exhibit cohesion. However, the proprietary sands exhibited cohesion values ranging between approximately 2 kPa and 8 kPa. As shown in Figure 9, the cohesion tended to increase with increase in the moulding moisture content of the sand. Because of this cohesion the proprietary sands developed greater shear strengths than the conventional untreated sand. This may be beneficial to pavement performance.

From Figure 9 it may be seen that the Sand B developed stronger cohesion that Sand A. For this material, it was possible to compact small cubes of the material which, after oven drying at 35 °C (a temperature commonly achieved in pavement surfaces in summer), could withstand gentle handling. The mean unconfined compression strength of these cubes was measured to be 25,5 kPa.

4.6.2 PERMEABILITY

The permeability of the jointing sands was measured using a specially developed constant low head permeameter. The applied head was 104 mm. The measured values of permeability are summarised in Table 2.

From Table 2 it may be seen that the permeabilities of the proprietary sands were an order of magnitude lower than that of the untreated Sydney sand but generally remained within the range of permeability (10^{-5} m/s to 10^{-2} m/s) expected for clean sands. In other words, the additives in the proprietary sands substantially reduced the permeability albeit not to the levels expected, for example, in cohesive soils such as clays.

To determine whether the additives might leach from the proprietary sands the permeability tests were prolonged past the periods needed to establish equilibrium flows. For continuous flows of up to 3 d duration only small changes in permeability were observed. Generally, there was evidence of very slight decreases in permeability with time. Further study of the potential for leaching of the additives may, therefore, be warranted.

5. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The observation that, except for the bituminous seals, none of the sealants used singly or in combination succeeded in totally eliminating water infiltration was an unexpected result and contradicted earlier studies [3]. In this respect, limited laboratory trials using 300 mm square pavers, have yielded much better results ie. much less infiltration. Because all other factors remained the same it appears that the most likely reason for this improvement was that it was easier to achieve complete filling of the joints with sand where the pavers had straight parallel sides than where shaped (dentated) pavers were used. Further study is needed to confirm this hypothesis. However, it should be noted that most successful tests of CBP sealing reported earlier have been conducted on rectangular pavers.

The major conclusions to be drawn from the study can be stated as follows:

1. About 25 % of intense rainfall may penetrate the joints in newly layed CBP where conventional jointing sand is used.
2. The use of liquid sealants applied over the surface of the compacted pavement slightly reduced the infiltration of water. For the particular sealants studied, solvent-based sealants were more effective than water-based materials.
3. The use of proprietary water-activated jointing

sands was more effective than sealants applied to the CBP surface.

4. The combination of surface sealants and proprietary jointing sands together was more effective than either system used alone. However, some water penetration still occurred.
5. The use of bituminous emulsions and seals was totally effective in preventing water penetration. Such sealants did not significantly penetrate the joints but rather formed a film over the top of the jointing sand.
6. The proprietary jointing sands exhibited permeabilities which were an order of magnitude smaller than for normal jointing sands.
7. The proprietary jointing sands exhibited small but significant cohesion.
8. Limited evidence suggests that it is easier to reduce water penetration in pavements surfaced with rectangular pavers than where shaped pavers are used. This is probably attributable to the ease of filling the joints with sand.

Finally, it is important to note that experience has shown that sealing is neither necessary or appropriate to all CBP applications. Indeed, as noted above, most CBP installed around the world has performed satisfactorily without sealants. Where water proofing is required, the use of sealants will reduce water infiltration. However, the research showed that, although infiltration can be reduced to low levels, it would be unwise to assume that CBP can easily be made completely waterproof using commonly available proprietary products. Of the materials studied, only the bituminous seals were totally effective and these presented aesthetic problems and/or poor resistance to fuel and oil.

6. REFERENCES

1. SHACKEL, Brian. The Design and Construction of Interlocking Concrete Block Pavements. -- London : Elsevier, 1991. 229P.
2. LEENDERS, P. The Water Porosity of a Concrete Block Pavement and the Use of Waste Materials in Concrete Paving Blocks. -- P.194-198. // In : CONCRETE BLOCK PAVING : INTERNATIONAL CONFERENCE (3 : 1988 : Roma). Proceedings. -- Treviso : Pavitalia, 1988. -- 497P.
3. EMERY, John J. Infiltration of Fuels Through Paver Joints. -- P.134-140. // In : CONCRETE BLOCK PAVING : INTERNATIONAL WORKSHOP (2 : 1994 : Oslo). Proceedings. -- Oslo : BLF, 1994. -- 495P.
4. SHACKEL, Brian and YAMIN, Sid. Laboratory Measurements of Water Infiltration Through Concrete Block Pavements. -- P.127-133. // In : CONCRETE BLOCK PAVING : INTERNATIONAL WORKSHOP (2 : 1994 : Oslo). Proceedings. -- Oslo : BLF, 1994. -- 495P.
5. INTERLOCKING CONCRETE PAVEMENT INSTITUTE. Cleaning and Sealing Interlocking Concrete Pavement : A Maintenance and Protection Guide. // In : ICPI Tech Spec. -- No. 5 (1995); 6P.
6. MAYA, A. Improved Joint Sand. -- P.161-167. // In : CONCRETE BLOCK PAVING : PAVE ISRAEL'96 : INTERNATIONAL CONFERENCE (5 : 1996 : Tel-Aviv). Proceedings. -- Tel-Aviv : Technion, 1996. -- 727P.
7. IMAZU, H. Sand Fixation and Stabilisation Method when Sand is Used as a Joint and Cushion Material in Pavement Construction. -- P.117-128. // In : CONCRETE BLOCK PAVING : PAVE ISRAEL'96 : INTERNATIONAL CONFERENCE (5 : 1996 : Tel-Aviv). Proceedings. -- Tel-Aviv : Technion, 1996. -- 727P.
8. SHACKEL, Brian. An Experimental Investigation of the Roles of the Bedding and Jointing Sands in the Performance of Interlocking Concrete Block Pavements Subjected to Traffic. // In : Concrete Beton. -- Vol. 9, No. 19 (1980); p.5-15.

7. ACKNOWLEDGEMENTS

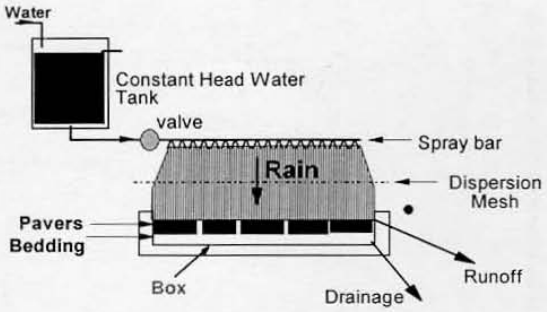
Much of the work reported here was carried out under the author's direction by Andrew Driver, Arthur Wang, Calvin Kwok and Hock Yiok Tiong. The assistance of Paul Gwynne and Lindsay O'Keeffe is also gratefully acknowledged.

MATERIAL *MATERIAL*	ANGLE OF SHEARING RESISTANCE, ϕ *ÁNGULO DE RESISTENCIA AL CORTE, ϕ*
Sydney sand *Arena de Sydney*	33 °
Sand A / *Arena A*	35 °
Sand B / *Arena B*	40 °

Table 1. Angles of Shearing Resistance.
Tabla 1. *Ángulos de resistencia a cortante.*

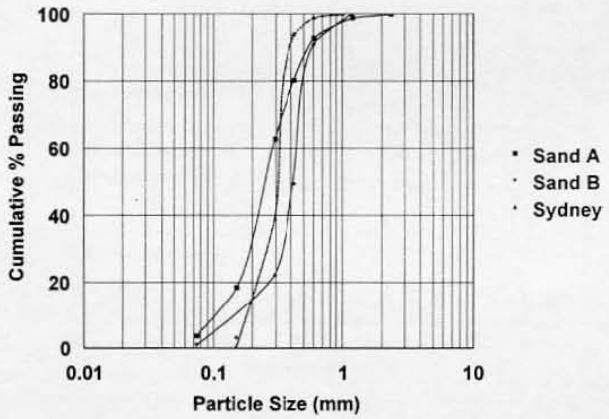
MATERIAL *MATERIAL*	PERMEABILITY (m/s) *PERMEABILIDAD*
Sydney sand *Arena de Sydney*	$3{,}0 \times 10^{-4}$ - $3{,}1 \times 10^{-4}$
Sand A / *Arena A*	$4{,}7 \times 10^{-5}$ - $5{,}8 \times 10^{-5}$
Sand B / *Arena B*	$2{,}0 \times 10^{-5}$ - $2{,}5 \times 10^{-5}$

Table 2. Jointing Sand Permeability.
Tabla 2. *Permeabilidad de la arena para el sello de juntas.*



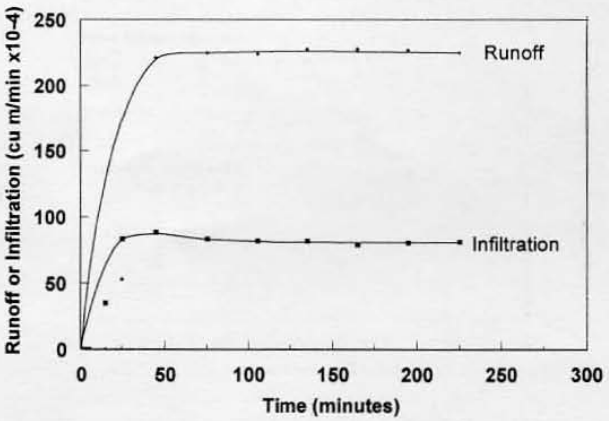
Water / *Agua* - Constant Head Water Tank / *Tanque de agua de cabeza constante* - Valve / *Válvula* - Spray bar / *Tubo aspersor* - Rain / *Lluvia* - Dispersion Mesh / *Malla dispersora* - Pavers / *Adoquines* - Bedding / *Capa de arena* - Box / Caja - Drainage / *Drenaje* - Runoff / *Escorrentía.*

Figure 1. Laboratory Equipment for Measuring Infiltration and Runoff.
Figura 1. *Equipo de laboratorio para medición de infiltración y escorrentía.*



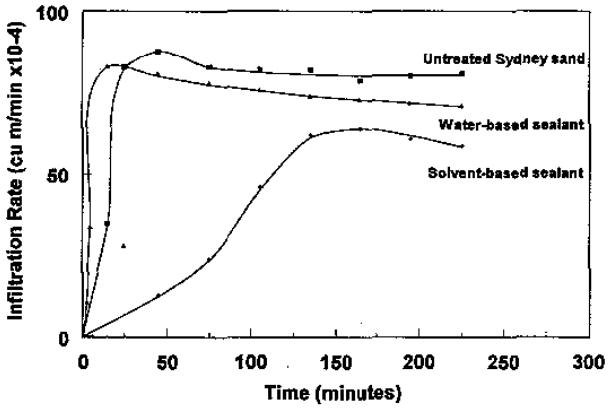
% QUE PASA, ACUMULADO vs TAMAÑO DE LA PARTÍCULA (mm)
Sand A / *Arena A* - Sand B / *Arena B* - Sydeny / *Arena de Sydney.*

Figure 2. Gradings of the Jointing Sands.
Figura 2. *Granulometrías de las arenas para el sello para juntas.*



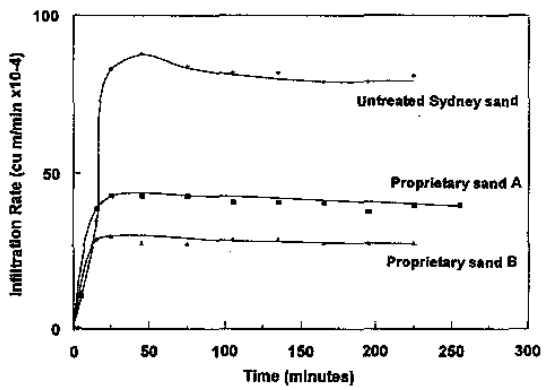
ESCORRENTÍA O INFILTRACIÓN (m^3/min x10^{-4}) vs TIEMPO (min)
Runoff / *Escorrentía* - Infiltration / *Infiltración.*

Figure 3. Infiltration and runoff for Untreated Sydney Sand.
Figura 3. *Infiltración y escorrentía de Arena de Sydney no tratada.*



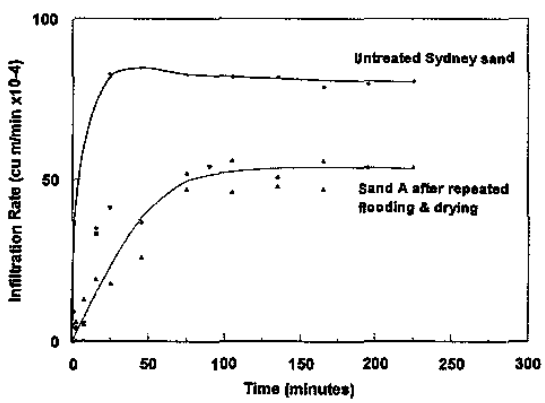
RATA DE INFILTRACIÓN (m^3/min x10^{-4}) vs TIEMPO (min)
Untreated Sydney sand / *Arena de Sydney no tratada* - Water-based sealant / *Sellante con base en agua* - Solvent-based sealant / *Sellante con base en solvente.*

Figure 4. Effects of Surface Sealants.
Figura 4. *Efectos de los sellantes de superficie.*



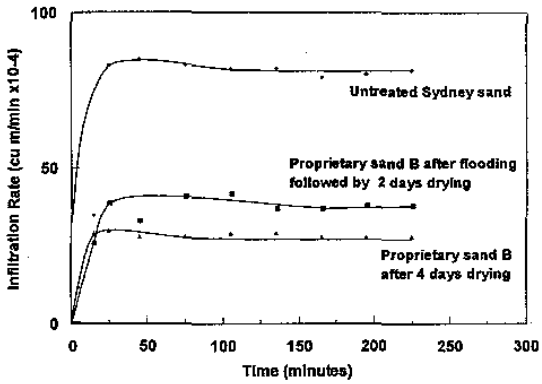
RATA DE INFILTRACIÓN (m^3/min x10^{-4}) vs TIEMPO (min)
Untreated Sydney sand / *Arena de Sydney no tratada* - Proprietary sand A / *Arena adecuada A* - Proprietary sand B / *Arena adecuada B.*

Figure 5. Effects of Proprietary Jointing Sands on Water Infiltration.
Figura 5. *Efectos de las arenas de sello adecuadas sobre la infiltración de agua.*



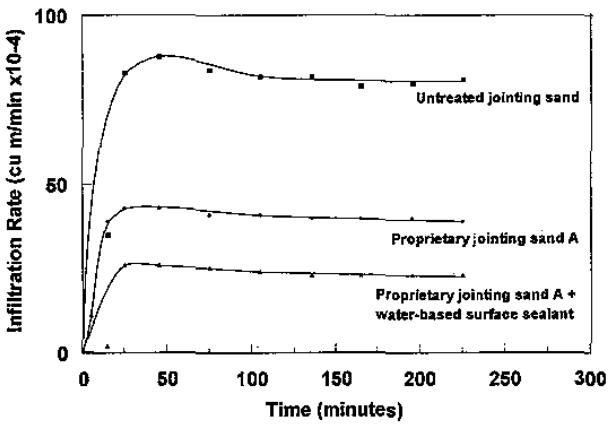
RATA DE INFILTRACIÓN (m^3/min x10^{-4}) vs TIEMPO (min)
Untreated Sydney sand / *Arena de Sydney no tratada* - Sand A after repeated flooding & drying / *Arena A despise de riplides inundaciones y secados.*

Figure 6. Effects of flooding and Drying CBP with Proprietary Jointing Sand A.
Figura 6. *Efectos de la saturación y secado en pavimentos de adoquines de concreto sellados con arena A de características adecuadas.*



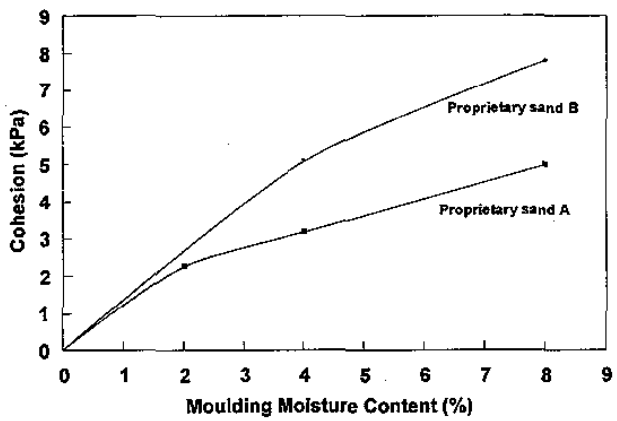
RATA DE INFILTRACIÓN (m^3/min x10^{-4}) vs TIEMPO (min)
Untreated Sydney sand / *Arena de Sydney no tratada* - Proprietary sand B after flooding followed by 2 days drying - *Arena educed B despise de inundate y 2 d de secede* - Proprietary sand B after 4 days drying / *Arena educed B despise de 4 d de secede.*

Figure 7. Effects of flooding and Drying CBP with Proprietary Jointing Sand B.
Figura 7. *Efectos de la saturación y secado en pavimentos de adoquines de concreto sellados con arena B de características adecuadas.*



RATA DE INFILTRACIÓN (m^3/min x10^{-4}) vs TIEMPO (min)
Untreated jointing sand / *Arena de junta no tratada* - Proprietary jointing sand A / *Arena adecuada A* - Proprietary jointing sand A + water-based surface sealant / *Arena adecuada A + sellante superficial con base en agua.*

Figure 8. Effects of using Surface Sealant and Jointing A in Combination.
Figura 8. *Efectos del uso combinado de un sellante de superficie y arena A.*



COHESIÓN (kPa) vs CONTENIDO DE HUMEDAD DE MOLDEO (%)
Proprietary sand A / *Arena educed A* - Proprietary sand B / *Arena educed B.*

Figure 9. Effects of Moisture Content on the Cohesion of the Jointing Sands.
Figura 9. *Efectos del contenido de humedad en el cohesión de las arenas de sello para juntas.*

ESTUDIO EXPERIMENTAL DE MÉTODOS PARA SELLAR PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO [3] [4]

Brin SHACKEL
Escuela de ingeniería Civil y Ambiental
UNIVERSIDAD DE NUEVA GALES DEL SUR - UNSW
Sydney, Australia

RESUMEN

Esta ponencia describe un estudio experimental sobre la prevención o minimización de la entrada de agua en los pavimentos de adoquines de concreto. En estos ensayos se estudiaron sellantes superficiales y arenas de sello especiales utilizados por separado o en conjunto. Los sellantes incluían tanto productos especializados como materiales de ingeniería comunes como ligantes bituminosos y emulsiones.

Los pavimentos de ensayo fueron construidos en un laboratorio y fueron sujetos a varias simulaciones de lluvias, en un montaje construido especialmente para estos ensayos. El montaje permitió monitorear tanto la escorrentía superficial como la infiltración, de manera independiente.

La investigación confirmó que un pavimento de adoquines de concreto recién construido es parcialmente permeable al agua. Todos los sellantes estudiados redujeron la permeabilidad del pavimento. Sin embargo, a excepción del sellante bituminoso, ninguno de los sellantes eliminó totalmente la filtración de agua, bien sea usados en forma individual o conjunta.

1. INTRODUCCIÓN

Aun cuando se sabe relativamente poco acerca del movimiento del agua dentro del pavimentos de adoquines de concreto [1] se ha visto que puede ocurrir filtración significativa del agua lluvia a través del pavimento. Por ejemplo, en los Países Bajos, más del 45 % de la lluvia anual se ha visto que penetra en los pavimentos de adoquines de concreto [2]. A pesar de ello, sellar los pavimentos de adoquines de concreto contra el ingreso de agua es un concepto relativamente nuevo. Realmente la gran mayoría de los pavimentos de adoquines en el mundo fueron construidos y han servido satisfactoriamente sin haber sido sellados. El concepto de sellado parece ser un producto derivado del uso de sellantes en pavimentos de adoquines de concreto para aeropuertos con el fin de la arena de las juntas del empuje de la corriente de las hélices o los chorros de las turbinas. Con respecto a esto, Emery [3] reportó que el uso de prepolímeros líquidos no solamente protege las juntas contra la erosión, sino que también reduce la infiltración de agua, gasolina de avión, petróleo y diesel a cantidades despreciables. Recientemente ha habido una proliferación de sellantes que dicen resaltar la apariencia del pavimento de adoquines de concreto y prevenir la penetración del agua, por lo cual resulta adecuado determinar la utilidad de estos productos.

Emery [3] reportó que el uso de un sellante con base en solventes previene la infiltración. En contraste, los estudios de Shackel and Yamin [4] mostraron que los sellantes a base de agua reducen pero no eliminan la penetración de agua. En este trabajo el sellante fue aplicado a un pavimento con juntas de 3 mm de ancho y con una pendiente del 2 %. Para períodos de lluvia de menos de una hora, la escorrentía superficial del pavimento de adoquines de concreto sellado fue de un 40 % mayor que la de un pavimento sin sellar, y la infiltración fue cerca de sólo el 20 % de la del pavimento sin sellar. Después de una hora las juntas se fueron saturando gradualmente y la infiltración subió a aproximadamente al 50 % de la medida en el pavimento sin sello. Ésto fue acompañado por un incremento correspondiente de la escorrentía superficial entre el 5 % y el 10 % con relación a los pavimentos sin sello.

Se puede ver que hasta aquí la información acerca del beneficio de la utilización de sellantes ha sido contradictoria o inconclusa. En conformidad se decidió realizar estudios sobre este problema en la Universidad de Nueva Gales del Sur – UNSW en Sydney, para todos los sellantes que se consiguen comúnmente. Estos comprenden:

1. Sellantes con base de agua, aplicados a la superficie y juntas del pavimento después de la compactación.
2. Sellantes con base en solventes, aplicados al pavimento después de la compactación.
3. Arenas de junta conteniendo polímeros, celulosa u otros compuestos, designados para prevenir el movimiento del agua luego de ser activados por el contacto con ella.

Todos los sellantes probados son productos de marca con poca información confiable acerca de su composición o propiedades ingenieriles. Sin embargo, alguna información genérica sobre sellantes líquidos ha sido organizada por el ICPI [5] y se han

---

[3] Los editores utilizaron el Sistema Internacional de Unidades (SI) en estas Memorias, y la coma "," como Puntuación Decimal. Cada ponencia se presenta primero en Inglés y luego en Español, con las Tablas y Figuras, en ambos idiomas, colocadas en medio de ellas. La Bibliografía se incluyó sólo en la versión original de cada ponencia.

[4] Esta es una traducción de la ponencia original escrita en Inglés, realizada por Zoraya Falah y Germán G. Madrid, no sometida a la aprobación del autor.

publicado algunos detalles sobre las arenas especiales para las juntas por Maya [6] e Imazu [7].

2. PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO

Los procedimientos adoptados en los ensayos en la UNSW incluyeron la construcción de áreas de 1,5 m^2 de pavimentos de adoquines de concreto dentro de cajas de acero que se podían colocar a cualquier pendiente, debajo del simulador de lluvia. El equipo se ilustra en la Figura 1. Para simular la caída de agua, se colocó una serie de chorros de agua alimentados desde un tanque de depósito de agua con una cabeza constante, los cuales se descargaban a través de una malla de nylon colocada a 0,6 m encima del pavimento a evaluar. Este sistema brindó una simulación de caída de agua distribuida uniformemente a través de la superficie del pavimento de adoquines de concreto. Las cajas de acero que contenía los pavimentos de adoquines de concreto se construyeron de tal manera que se podían recoger y medir, separadamente, el agua que drenaba a través de la capa de arena y la escorrentía superficial del pavimento.

El simulador se ajustó para aplicar una lluvia de intensidad nominal de 80 mm/h (una caída de agua alta para Australia). Esta intensidad de agua se simuló para todas las pruebas que se describen a continuación. La pendiente de los pavimentos ensayados se ajustó a, aproximadamente, el 0,5 %, que es mucho menos que la pendiente del 2 % que normalmente se considera como el mínimo requerido para obtener una buena escorrentía superficial en los pavimentos de adoquines de concreto. O sea que las condiciones de prueba fueron diseñadas para promover la filtración de agua dentro del pavimento.

Loa adoquines usados fueron de 60 mm de espesor, Categoría A, con patrón de colocación en espina de pescado, con sus ejes mayores alineados o perpendiculares con la dirección de la pendiente de drenaje superficial. El promedio del ancho de las juntas era de aproximadamente 3 mm (la práctica constructiva australiana requiere juntas entre 2 mm y 5 mm).

3. MATERIALES

Para esta evaluación se seleccionaron dos arenas adecuadas para el llenado de las juntas. Estas contenían sellantes a base de agua, no especificados, y serán denominadas, de ahora en adelante, como arenas A y B. Como base para la comparación se utilizó arena de Sydney, un producto altamente utilizado para la construcción de pavimentos de adoquines de concreto, tanto para la capa de arena como para el llenado de las juntas, en el pavimento de referencia o control. La granulometría de los materiales se presenta en la Figura 2.

En el caso de los sellantes se estudiaron sellantes líquidos tanto con base de disolventes como con base de agua. También se examinó el uso de materiales convencionales como el emulsiones bituminosas y el asfalto claro.

4. TRABAJO EXPERIMENTAL

El trabajo experimental sirvió a dos objetivos. Estos fueron:

1. Medir la efectividad tanto de los sellantes de superficie como de las arenas adecuadas para el llenado de las juntas, en la reducción de la infiltración de lluvias simuladas, sobre una variedad de pavimentos de ensayo.
2. Medir las propiedades ingenieriles de las arenas para el llenado de las juntas.

4.1 RESPUESTA DEL PAVIMENTO A LA LLUVIA SIMULADA

En la Figura 3 se muestra la variación con el tiempo de la escorrentía y de la infiltración en pavimentos de adoquines con capa de arena y juntas llenadas con arena de Sydney. De esta Figura se puede desprender que después de una hora de lluvia simulada se estabilizó la escorrentía y la infiltración. De ahí en adelante, sólo el 25 % de las lluvia penetró por las juntas del pavimento. El objetivo principal de los experimentos era evaluar hasta dónde se podría reducir esta infiltración por medio del uso de sellantes de superficie y de arenas con propiedades sellantes.

4.2 EL USO DE SELLANTES DE SUPERFICIE

Se evaluaron dos sellantes suministrados por el mismo productor. Uno era de base de agua y el otro de base de disolventes. Ambos sellantes se aplicaron de acuerdo con las recomendaciones de los productores, que eran utilizar un rodillo para aplicar los sellantes sobre toda la superficie del pavimento de adoquines de concreto, de tal manera que las juntas inundaran a lo largo de los biseles entre los adoquines, facilitando la penetración de los sellantes en penetrar en la arenas de llenado de las juntas. Las inspecciones mostraron que los sellantes penetraban hasta unos 30 mm o 40 mm dentro de las juntas. Se dejó que los pavimentos se secaran por un período de, al menos, 24 h antes de los ensayos.

Los efectos de los sellantes en la infiltración del agua se muestran en la Figura 4. En esta Figura se puede ver que los sellantes con base de disolventes fueron más efectivos que los de base de agua, en la reducción de la infiltración de agua, pero ninguno de los sellantes la eliminó totalmente. Más bien, la infiltración de agua medida en los pavimentos de adoquines de concreto con arena de sello normal, sin tratamiento, se redujo solamente en un 25 %, una vez aplicados los sellantes. Esto resultó ser consistente con investigaciones preliminares que mostraban que el uso de otro sellante con base de agua solamente reducían la infiltración de agua en el pavimento de adoquines de concreto por cerca del 50 % pero no la eliminaba [4].

4.3 EL USO DE ARENAS CON PROPIEDADES DE SELLADO

Los efectos de llenar la juntas de los pavimentos de

adoquines de concreto con arenas adecuadas para el llenado y sellado de las mismas, se muestra en la Figura 5. En esta Figura se puede ver que el uso de las arenas adecuadas, redujo la infiltración de agua en, aproximadamente, entre el 50 % y el 65 %. Sin embargo, como en el caso de los sellantes de superficie, la infiltración no fue eliminada totalmente por ninguno de los materiales probados.

No era claro cual sería el efecto, a largo plazo, del humedecimiento y secado de las arenas adecuadas. Para evaluar esto, se inundó hasta una profundidad de uno 5 mm y se dejó secar el pavimento, alternadamente, sin permitir que drenara. Los resultados de estos experimentos están descritos en las Figuras 6 y 7. En general, ni la inundación prolongada ni el secado tuvieron un efecto significativo en el comportamiento de infiltración de las dos arenas estudiadas.

4.4 EL USO COMBINADO DE SELLANTES Y ARENAS ADECUADAS

Ya que ninguno de los sellantes o las arenas sirvieron totalmente para la prevención de la infiltración de agua en los pavimentos de adoquines de concreto, se decidió examinar los efectos del uso de sellantes con base de agua sobre un pavimento que ya tenía arena A en sus juntas, como medio de sellado. Como se muestra en la Figura 8, la aplicación del sellante redujo la infiltración en un 50 %, pero, sorpresivamente, no lo eliminó completamente.

4.5 EL USO DE SELLANTES ASFÁLTICOS CONVENCIONALES

Grandes áreas de pavimento de adoquines de concreto han sido selladas exitosamente en la construcción de los aeropuertos internacionales de Melbourne y Cairns, utilizando emulsiones bituminosas rociadas sobre la superficie. Estas áreas han permanecido impermeables por períodos de hasta 6 años. Por esta razón, se ensayó una emulsión aniónica colocada por trapeado, sin diluir, sobre adoquines colocados sobre y sellados con arena de Sydney. Este tratamiento eliminó totalmente la penetración de agua, pero tiene la desventaja de cambiar los colores y las texturas del pavimento. Para determinar si esta desventaja se puede solucionar, se realizó un estudio posterior usando Mexfalte Shell C un asfalto sintético incoloro. El resultado fue estéticamente aceptable. Como en el caso de la emulsión, este sellante previno totalmente la infiltración de agua.

Ni la emulsión ni el Mexfalte Shell C penetraron significativamente dentro de las juntas de arena. Por el contrario, estos materiales formaron una película delgada o costra, sobre los adoquines y las juntas. Aun cuando estaba protegida de la aspereza del trafico por encontrarse dentro de los biseles, resultó ser vulnerable a las presiones provenientes de la capa de arena y de las juntas, que causaron que la película se levantara y se resquebrajara bajo presiones de más de 1 m de cabeza. Además no se esperaría que ninguno de los materiales bituminosos fuera resistente al derrame de combustibles o aceites.

4.6 PROPIEDADES DE INGENIERÍA DE LAS ARENAS ADECUADAS PARA EL LLENADO DE LAS JUNTAS

Las propiedades de estas arenas se midieron en términos de la fuerzas de cortante, utilizando el ensayo convencional de la Caja de Corte, y de su permeabilidad, mediante un permeámetro de cabeza constante.

4.6.1 ENSAYO DE LA CAJA DE CORTE

Muestras de estas arenas fueron ensayadas secas y después mezcladas con 2 %, 4 % y 8 % de agua. Las muestras fueron evaluadas en una Caja de Corte 100 mm x 100 mm, para determinar su resistencia a las fuerzas de cortante y su cohesión. Los ángulos de resistencia al corte, ϕ, se relacionan en la Tabla 1, y el desarrollo de la cohesión, con la humedad de moldeo, en la Figura 9.

Para las capas de arena y las arenas para el llenado de las juntas en los pavimentos de adoquines de concreto, se habían reportado previamente valores de resistencia a las fuerzas de corte, ϕ, entre 30 ° y 44 ° [8]. Los valores de ϕ que se muestran en la Tabla 1 pueden entonces ser vistos como los típicamente esperados. Normalmente a las arenas utilizadas para las capas de arena y el llenado de las juntas en los pavimentos de adoquines de concreto se les requiere que estén sustancialmente libres de cualquier componente de arcilla plástica y que, por lo tanto, no tengan cohesión. Sin embargo, estas arenas adecuadas tuvieron valores de cohesión de entre 2 kPa y 8 kPa. Como aparece en la Figura 9, la cohesión tiende a incrementar con el incremento de la humedad de moldeado de la arena. debido a esta cohesión, estas arenas desarrollan una mayor resistencia al las fuerzas de corte que la de las arenas sin tratar. Esto puede ser benéfico para el desempeño del pavimento.

De la Figura 9 se puede deducir que la arena B desarrolló una cohesión más fuerte que la arena A. Con este material era posible compactar pequeños cubos del material los cuales, después de secados al horno a una temperatura de 35 °C (una temperatura común para la superficie de los pavimentos en el verano.), podían soportar un manejo delicado. La resistencia media a compresión de estos cubos fue de 25,5 kPa.

4.6.2 PERMEABILIDAD

La permeabilidad de estas arenas fue medida utilizando un permeámetro especialmente desarrollado, de cabeza baja constante. La cabeza aplicada fue de 104 mm. Los valores medidos de permeabilidad están relacionados en la Tabla 2.

De la Tabla 2 se puede deducir que la permeabilidad de estas arenas fue significativamente más baja que la de las arenas de Sydney sin tratar, pero general-

mente permanecieron en el rango de permeabilidad (10^{-5} m/s a 10^{-2} m/s) esperado para arenas limpias. En otras palabras, los aditivos en estas arenas reducen sustancialmente la permeabilidad, pero no hasta los niveles esperados, por ejemplo, en suelos cohesivos como la arcilla.

Para determinar si los aditivos podrían separarse de las arenas, se efectuaron pruebas de permeabilidad mas largas por períodos necesarios para establecer los flujos de equilibrio. Para flujos continuos de hasta 3 d de duración, sólo se observaron pequeños cambios en la permeabilidad. Generalmente se evidenció una pequeña pérdida de permeabilidad en el tiempo. Se pude recomendar llevar a cabo estudios posteriores del potencial de separación de aditivos.

5. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

La observación que a excepción del sellante bituminoso, ninguno de los sellantes usados, solos o en combinación, eliminaron totalmente la infiltración de agua, fue un resultado inesperado que contradijo estudios anteriores [3]. A este respecto, ensayos limitados en el laboratorio, utilizando adoquines cuadrados de 300 mm de lado, se han obtenido mejores resultados, es decir, menor infiltración. Dado que los otros factores permanecieron lo mismo, parece ser que la razón primordial para esta mejoría fue la de que era más fácil obtener un llenado completo de las juntas con arena cuando los adoquines tenían lados paralelos rectos, que cuando se utilizaban adoquines que tenían formas (dentadas). Se requieren estudios posteriores para confirmar esta hipótesis. De todas maneras, se debe notar que las mejores pruebas de sellado de pavimentos de adoquines de concreto han sido en adoquines rectangulares.

Las principales conclusiones del estudio son las siguientes:

1. Alrededor del 25 % de una lluvia intensa puede penetrar las júntas de un pavimento de adoquines recién colocado cuando se utiliza arena convencional para llenar las juntas.
2. El uso de los sellantes líquidos aplicados en la superficie del adoquín compactado reduce un poco la infiltración de agua. Para los sellantes estudiados, en particular, se muestra que aquellos con base de solventes fueron mas efectivos que los que tenían base de agua.
3. El uso de las arenas adecuadas activadas por agua, con propiedades de sellado, fueron más efectivos que los sellantes aplicados sobre la superficie del pavimento de adoquines de concreto.
4. La combinación de sellantes de superficie y arenas de junta adecuadas, fue más efectivo que cualquier otro sistema utilizado por si mismo. De todas manera ocurrió penetración de agua.
5. El uso de los emulsiones bituminosas y sellos fue totalmente exitosa para prevenir la penetración de agua. Estos sellantes no penetran significativamente en las juntas pero forman una película sobre la arena de las mismas.
6. Las arenas con propiedades de sellado exhibieron grados de permeabilidad menores de aquellos en las juntas con arenas normales.
7. Estas arenas exhibieron cohesiones pequeñas pero significativas.
8. Evidencia limitada sugiere que es más fácil reducir la penetración de agua en las superficies de pavimentos realizados con adoquines rectangulares que con aquellos con formas. Esto se puede atribuir a la facilidad del llenado de las juntas con arena.

Finalmente es importante anotar que la experiencia mostró que el sellado no es necesario o apropiado para todas las aplicaciones de los pavimentos de adoquines de concreto. Sin embargo, como se explicó antes, la mayoría de los pavimentos de adoquines instalados en todo el mundo, funcionan satisfactoriamente sin sellantes. Cuando es requerido protegerlo del agua, el uso de sellantes reduce la filtración de ésta. Sin embargo, la investigación mostró que aunque la infiltración puede ser reducida a bajos niveles, no es recomendable asumir que el pavimento de adoquines de concreto se puede hacer fácilmente impermeable usando productos adecuados y comúnmente disponibles. De los materiales estudiados, solamente los sellantes bituminosos fueron totalmente efectivos y presentaron problemas estéticos y de pobre resistencia al combustible y el aceite.

6. RECONOCIMIENTOS

Mucho del trabajo reportado en esta ponencia fue llevado a cabo bajo la dirección del autor por Andrew Driver, Arthur Wang, Calvin Kwok y Hock Yiok Tiong. Se reconoce ampliamente la colaboración de Paul Gwynne y Lindsay O'Keeffe.