Third International Workshop on Concrete Block Paving, Cartagena de Indias, Colombia, May 10-13, 1998
Tercer Taller Internacional de Pavimentación con Adoquines de Concreto, Cartagena de Indias, Colombia, Mayo 10-13, 1998

# ASPECTS OF MUNICIPAL APPLICATIONS OF CONCRETE BLOCK PAVING [1] [2]

**Anthony N.S. BEATY**
Professor
ROYAL MILITARY COLLEGE
Kingston, Canada

## SUMMARY

Very often concrete block paving is selected for municipal applications, by architects or landscape architects, because of its aesthetic appeal. While the desired visual impact is clearly defined, all too frequently understanding of the block pavement as a load-bearing engineering structure is lacking. This can result in block pavements which do not perform adequately from a structural point of view and which, in consequence, have diminished visual appeal.

Three particular municipal applications are described and discussed, these are: pedestrian crossings, entrance driveways and pavement re-instatement after access to buried services. In the case of block paving pedestrian crossings, these are often inserted into existing asphalt streets, to give them higher visibility and to enhance the appearance of the street. If careful attention is not paid to the engineering details, the results can be disappointing. These details are discussed. Entrance driveways to public buildings can complement the architecture of the building but must be able to support the traffic using them, without excessive deformation. An example is presented to show that insistence on some architectural features can have disastrous engineering consequences. Alternative approaches which balance aesthetic and engineering considerations, including the need for continuity of support from the roadbase and drainage requirements, are discussed. Finally an innovative Canadian municipal use of concrete block paving for re-instating openings in bituminous pavements is presented and discussed. Originally proposed as a temporary measure for use in the severe winter weather, the technique has been so successful that it is now used for permanent repairs.

## 1. INTRODUCTION

Concrete block paving is often selected for municipal applications on the basis of its aesthetic appeal. The pleasing visual appearance of block paving makes it attractive to architects, landscape architects and urban planners, who understand clearly the image they wish to create. Unfortunately, a similarly clear understanding of the engineering aspects of a block pavement as a load-bearing structure is often lacking. Features of block paving which contribute to visual appeal can be fatal flaws from a structural point of view. When aesthetic considerations are not combined with sound engineering, pavement failure can occur resulting in the loss of both structural integrity and visual appeal.

## 2. PEDESTRIAN CROSSINGS

Concrete pavers are quite widely used for pedestrian crossings in asphalt paved streets. This arises from the idea that the contrast between the colour and texture of the paver crossing surface and those of the surrounding asphalt street surface will make the crossing readily identifiable to both pedestrians and motorists. This, it is hoped, will lead to lower vehicle speeds and increased pedestrian safety. In Belgium [1] such crossings may be composed of alternating bands of black and white pavers and the surface of the crossing may be slightly raised relative to the surrounding asphalt in order to improve their visibility and to create a slight shuddering of the vehicle (similar to the use of rumble strips at the edge of a carriageway) in order to promote a reduction in vehicle speed through the crossing area. In Australia [2] the pedestrian crossing in block paving may be combined with a speed bump for further control of traffic speed.

The guiding principle when inserting a block paving crossing into an asphalt street should be the avoidance of discontinuity. As the crossing must resist traffic stresses, the pavers must be laid in herringbone bond (architects often prefer the look of stretcher bond). The edges of the asphalt should be clean, vertical saw-cuts, which, provided the asphalt layer is thick enough (say 150 mm) can serve as edge restraints. In the case of very thin asphalt layers, they should be saw cut and 200 mm thick concrete edge restraints cast in place. These will retain the bedding sand. Whatever the existing roadbase material, the same should be used beneath the crossing, compacted to the same density so as to provide uniformity of support. If this is not done, for example where the existing roadbase is unbound aggregate and it is decided to place a concrete slab roadbase under the new crossing, trouble can be expected. The discontinuities introduced will ensure that differential movement will result from the materials' different responses to traffic and environmental stresses. Furthermore, the concrete base may retain water and the crossing tend to become a bathtub with deleterious consequences. Cases are known where the result has been broken pavers.

---

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 included only in the original version of each paper.

2 This is the original version of this paper.

The pavement cross-section should only vary in so far as 80 mm pavers on 30 mm bedding sand replace the 100 mm to 125 mm of asphalt over the width of the crossing. Joints should be properly filled and the jointing sand stabilized in place to resist street cleaning operations. In some Canadian cities it has been concluded the block paving "doesn't work" in pedestrian crossings. Provided attention is paid to essential engineering details this need not be the case.

# 3. ENTRANCE DRIVEWAYS

## 3.1 DESCRIPTION

The entrance driveway to a prominent public building in a Canadian city was designed as a semi-circle, approximately 220 m in length, with access from and egress to a street along a diameter. There appears to have been no input from any engineer knowledgeable about block paving. The landscape architect designer was solely concerned with the visual impact of the driveway and selected stretcher bond laid parallel to the curved longitudinal axis of the pavement as shown in Figure 1. The driveway was located on the roof of a parking garage, to which access by both cars and buses was gained by down ramps from the driveway as shown in Figure 2. It will be noted that the configuration of the car access ramps is such that every car has to traverse the central 100 m of the driveway twice as the entrance is downstream of the exit. Two sizes of paver were used, 105 mm x 213 mm rectangular pavers without ribs were used for the main pavement and 98 mm x 198 mm rectangular pavers without ribs were used to delineate the pavement edges and parking areas and were also laid in stretcher bond perpendicular to the traffic direction as pedestrian crossings as shown in Figure 3. The cross-section of the pavement is shown in Figure 4.

80 mm thick pavers were hand placed on a laying course specified to be screeded and pre-compacted to a thickness of 20 mm. The material was specified to be 0 mm to 4 mm limestone screenings. Joint width between pavers was specified to be a maximum of 2 mm and they were to be filled with coarse sand to be swept in and compacted by watering the surface. Separating the bedding sand from a 100 mm thick drainage layer was a 300 g/m$^2$ non-woven, permeable, polyester geotextile fabric. The drainage layer, shown in Figure 5, was specified to be 20 mm to 30 mm well-graded, rounded, non-porous, natural river gravel, free from fines, spread to obtain a perfectly horizontal surface, and stabilized by mechanical vibrator. Beneath the drainage layer was 150 mm thickness of high density styrofoam, having a minimum compressive strength of 690 MPa to serve as insulation and light-weight fill.

## 3.2 DESIGN INTENT

Two factors seem to have been predominant in the design, first the inadequate strength of the structural slab roof of the underground parking garage, which forms the foundation for the driveway pavement and secondly the visual appearance of the driveway pavement. It is clear from the extent of the design errors that no-one knowledgeable about interlocking block paving was involved in the design. Prior to construction of the block pavement it was determined that the roof slab had been underdesigned and required strengthening. The design vehicle had been a maintenance truck having a gross mass of 8 300 kg at a tyre pressure of 550 kPa, whereas the maximum vehicle load would be a 28 000 kg bus at a tyre pressure of 690 kPa. Although the slab was strengthened, concern about the dead-weight of the pavement structure seems to have been an influence in design. The specification of a drainage layer composed of essentially single-sized, rounded, natural river gravel appears to have been taken from a U.S. specification sheet for built-up roofing not intended to support vehicular loading. The details of the waterproof membrane to seal the slab against ingress of water and the protection board to conserve the integrity of the waterproof membrane seem also to have come from this source. While the styrofoam layer may have had a primary function of reducing heat loss from the parking garage, it was also intended to reduce the pavement dead-weight in partial compensation for the higher than anticipated live loads.

The geotextile separator was intended to prevent loss of bedding sand into the open-graded drainage layer. Selection of limestone screenings as a block paving laying course is quite common in Canada. The material is very cheap, readily available and easy to work with. The source of the decision to lay the pavers on a compacted sand surface and to limit its thickness to 20 mm is not known. The second design preoccupation, namely that of visual appearance, led to the choice of paver sizes and colours and to the insistence on stretcher bond following the longitudinal axis of the driveway and also the use of different pavers in the delineation of areas of pavement designated for different uses.

## 3.3 PROBLEMS

Shortly after opening to traffic, severe rutting occurred and blocks were displaced longitudinally. Subsequent measurements showed rut depths up to 70 mm and horizontal movement up to 165 mm. Blocks were physically displaced from the pavement, producing large gaps. This was to be expected as the stretcher bond laying pattern created continuous shear planes, parallel to the traffic direction, over the full length of the pavement. This was exacerbated by the one-way direction of traffic movement and by the fact that interlock could not develop as most joints could not be filled due to too small a joint spacing combined with specifying coarse jointing sand. In addition, it was required to apply water during joint filling. It is known that this is contra-indicated as it washes sand out of the joints rather than helping to fill them. The size and shape of the river gravel used in the drainage layer were such

that a closed, even surface could not be achieved. The geotextile separator suffered considerable deformation adapting to the actual surface of the drainage layer. It was insufficiently strong to resist the tensile forces caused by the excessive deformation and in consequence became perforated in places, allowing loss of bedding sand and hence giving rise to severe rutting. Furthermore the drainage layer was really the roadbase or main structural layer of the pavement. The shape and grading of the gravel particles precluded adequate compaction and stability, hence the pavement was unable to support the vehicle loads applied to it.

Limestone screenings should not be used for a block pavement laying course because they consist of poorly shaped, flaky and elongated particles which are fragile and break down into fines under repeated loading. In addition, this material is usually poorly graded and contains excessive fines. While current practice seeks to keep the laying course thickness to a practical minimum, it is not recommended to precompact the complete thickness of the laying course as this does not allow for the accommodation of accepted variation in manufactured block height. The compacted thickness which can reasonably be specified depends on the level accuracy of the underlying roadbase. Even with the best control of roadbase surface level, it is not recommended that the compacted thickness of the laying course be less than 25 mm. In the case under discussion, where the roadbase surface level was poorly controlled, this would not have been achievable. Measurements of actual thickness varied from 0 mm to 12 mm in some locations to 25 mm to 40 mm in others. The mixing of different paver sizes, not physically separated into different areas by concrete edge restraints, makes it impossible to maintain the laying pattern, joint spacing and interlock and therefore compromises the entire integrity of the pavement structure.

Although actual joint spacings were found to be consistent within a given area, average spacing varied from a low value of 0,6 mm in places to a high value of 1,3 mm in others. Both values are well below the 3 mm generally considered necessary.

Drains were provided on the inside of the curve. It was intended that surface water would flow to these and also that internal drainage to them, of water entering the pavement, would occur through the drainage layer. Neither seemed to work well. The crossfall was not adequate and bedding sand was washed into the drains.

### 3.4 PROPOSED REMEDIAL WORK

The pavement as built contains so many design and construction faults and has suffered such damage that reconstruction is required. The entire structure above the styrofoam must be removed. Where damaged, the styrofoam needs to be replaced. All joints between styrofoam sheets need to be covered with strong, adhesive tape to prevent movement. Road edge drains should be placed along the length of the inner edge of the road. A good quality crushed rock aggregate should be placed and compacted as a roadbase, with a crossfall of 2,5 % towards the inner edge and a surface tolerance of ± 10 mm. A heavier, finer geotextile should be placed, on which a properly specified quartz sand laying course should be screeded loose to 40 mm thickness. A single size of paver should be hand placed in continuous herringbone bond, from one end of the driveway to the other. If it is desired to break the pattern to delineate cross-walks, these should be provided with cast-in-place, concrete edge restraints. A joint width of 3 ± 1 mm should be specified and strictly controlled. Joints should be filled with dry jointing sand having a maximum grain size of 1 mm. Filling the joints should be accomplished by brushing and several passes of a vibrating plate compactor. The jointing sand should be stabilized in place with a suitable elastomeric joint sealer. Construction should be supervised by a competent engineer, with experience of interlocking block paving.

## 4. REINSTATEMENT OF UTILITY CUTS

Restoring the pavement surface, after opening it to excavate for repairs to buried services, presents particular problems in cold climates. A common method, used in Canada, is to place cold-mix asphalt as a temporary measure to be replaced in the spring or summer. This does not prove very satisfactory as deformation occurs in the patched area and damage to the adjacent asphalt may also occur due to shrinkage of the cold-mix patch. In these cases the resurfacing has to be done a second time in the spring using a more permanent hot-mix asphalt.

The alternative technique developed is to rebuild the pavement surface using interlocking concrete pavers on a standard laying course placed over the utility trench, backfilled with unshrinkable concrete fill. The general arrangement is shown in Figure 6. The edges of the opening in the asphalt pavement must be cleanly saw cut to give solid edge restraints. The advantages are (i) the unshrinkable fill does not displace, (ii) there is no settlement of the patched area, (iii) the repair is permanent and does not need to be done a second time in the warmer weather, (iv) both placement of the unshrinkable fill and construction of the block paving insert can be performed successfully in adverse, freezing conditions and (v) the overall cost is slightly reduced.

The original intention had been that the block paving insert would serve as a replacement for the temporary cold-mix asphalt patch and would itself also be replaced by hot-mix asphalt in the spring or summer. Experience with earlier, experimental applications resulted in the decision to leave the block paving in place as a permanent repair. In this application, engineering considerations certainly dominate, but appearance is not altogether neglected as the block paving insert generally looks better than a deformed

cold-mix asphalt patch. Given that the block paving insert is functional and cost-effective, a case can be made for use of pavers over the full street width when resurfacing becomes due. This would be aesthetically more pleasing and future utility cut openings could be reinstated by lifting, cleaning and re-using the same pavers. In the long term there should be a further economic benefit as maintenance costs of a well-constructed block pavement are usually less than those for an asphalt pavement.

### 4.1 UNSHRINKABLE (FLOWABLE) BACKFILL

Unshrinkable fill, also known as flowable fill, is a low-strength concrete, designed to achieve a controlled density, without compaction, when poured as a backfill into utility cuts and trenches. It is composed of Portland cement, fine and coarse aggregates and water. It may contain an air-entraining admixture. Flowable backfill is a standard, well-controlled material available from ready-mixed concrete plants. It is designed to have a low compressive strength, not exceeding 0,4 MPa at 28 d. Typical Canadian specifications would include a maximum of 25 kg of Portland cement per cubic meter, a slump in the range 150 to 200 mm, which permits the material to flow freely into the trench, and a total air content (where air entrainment is required) of 4 % to 6%. A setting time of one to two hours is typical. In Canadian conditions, the in-place cost of unshrinkable fill is less than that for properly placed and compacted granular fill, with the added advantage that there will be no settlement of the unshrinkable fill.



**Figure 1.** Driveway, general view.
***Figura 1.*** *Vista general de la vía de acceso.*

## 5. CONCLUSIONS

1. Where concrete block paving is selected, for load-bearing municipal applications, on the basis of its visual appeal, it is essential that engineering factors be properly taken into account.
2. In cases where municipal block pavements are designed only on the basis of their architectural appeal, without adequate engineering input, there is a high risk that they will fail structurally and in so doing will also lose the visual appeal for which they were chosen.

## 6. REFERENCES

1. HENDRIKX, Lambert and CAISTECKER, Chris. New Developments and Belgian Experience with Concrete Block Paving in Built-up Areas. -- P.287-296. // In : CONCRETE BLOCK PAVING : PAVE NEW ZEALAND'92 : INTERNATIONAL CONFERENCE (4 : 1992 : Auckland). Proceedings. -- Porirua : C&CA of NZ, 1992. -- 3 Vol.

2. CONCRETE MASONRY ASSOCIATION of AUSTRALIA. Interlocking Concrete Paving Design Manual. -- Norht Sydney : CMA of A, 1986. -- 18P.

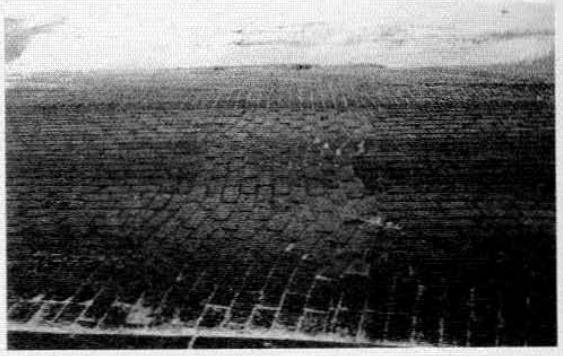


**Figure 3.** Displaced pedestrian crossing.
***Figura 3.*** *Cruce peatonal desplazado.*

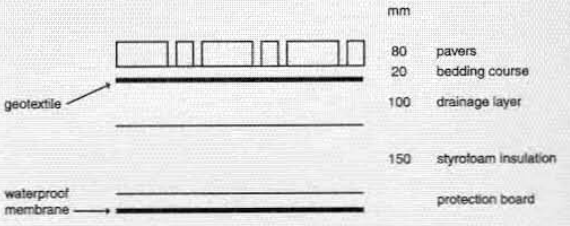
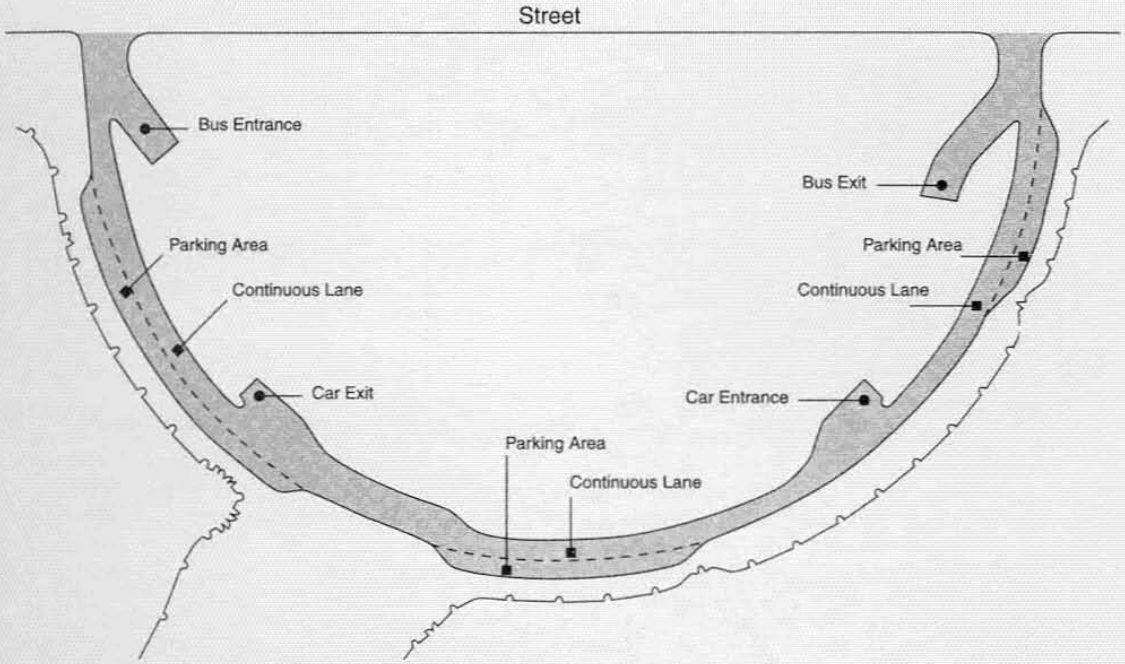



Figure 4 - Driveway pavement cross-section

Geotextile / Geotextil - Waterproof membrane / *Membrana impermeable* - Pavers / Adoquines - *Bedding course* / Capa de arena - Drainage layer / *Capa de drenaje* - Styrofoam insulation / *Capa aislante de poliestireno expandido* - Protection board / *Lámina de protección.*

**Figure 4.** Driveway pavement cross-section.
***Figura 4.*** *Sección del pavimento de la vía de acceso.*




Street / *Calle* - Bus Entrance / *Entrada de buses* - Bus Exit / *Salida de buses* - Parking Area / *Área de estacionamiento* - Continuous Lane - *Vía continua* - Car Exit / *Salida de automóviles* - Car Entrance / *Entrada de automóviles.*

**Figure 2.** Plan of driveway.
***Figura 2.*** *Plano de la vía de acceso.*



**Figure 5.** Pavement drainage layer.
***Figura 5.*** *Capa de drenaje del pavimento.*

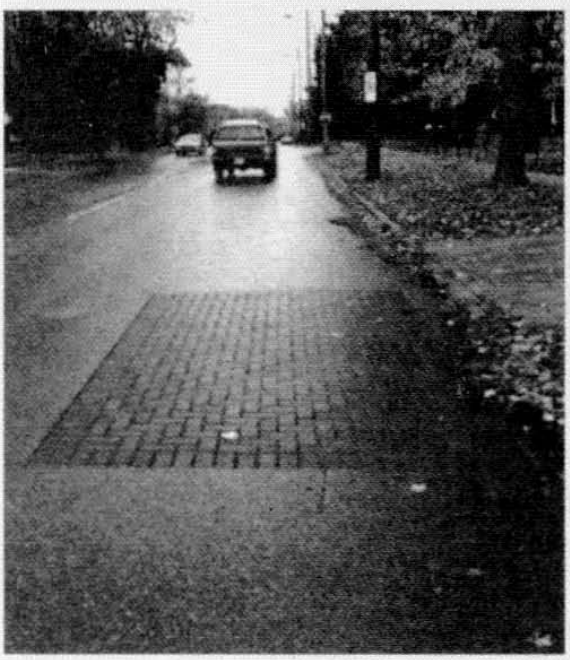
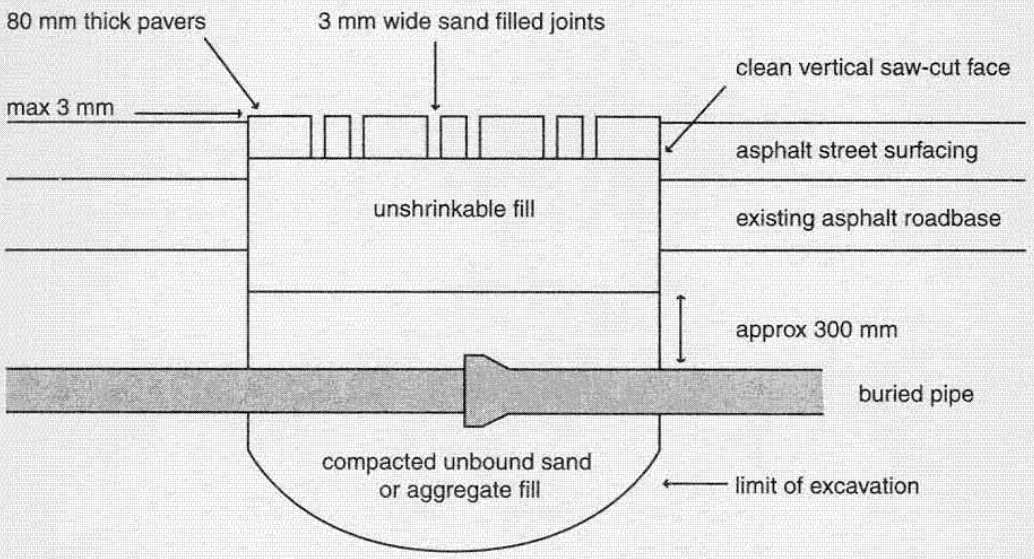


**Figure 7.** Completed paver insert.
***Figura 7.*** *Parche de adoquines una vez terminado.*




80 mm thick pavers / *Adoquines de 80 mm de espesor* - Max 3 mm / *Máximo 3 mm* - 3 mm wide sand filled joints / *Juntas de 3 mm llenadas con arena* - Clean vertical saw-cut face / *Paramento vertical bien cortado con sierra* - Asphalt street surfacing / *Recubrimiento asfáltico de la superficie de la vía* - Existing asphalt roadbase / *Base asfáltica existente* - Unshrinkable fill / *Lleno no compresible* - Compacted unbound sand or aggregate fill / *Lleno compactado de arena o agregado no estabilizado* - Aprox 300 mm / *Aproximadamente 300 mm* - Buried pipe / *Tubería enterrada* - Limit of excavation / *Límite de la excavación.*

**Figure 6.** Utility cut reinstatement CBP, cross-section.
***Figura 6.*** *Sección del llenado de una brecha utilizando un pavimento de adoquines de concreto.*

# ASPECTOS RELATIVOS A LAS APLICACIONES MUNICIPALES DE LOS PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO [3] [4]

**Anthony N.S. BEATY**
Profesor
ROYAL MILITARY COLLEGE
Kingston, Canadá

## RESUMEN

Con mucha frecuencia los arquitectos o paisajistas seleccionan pavimentos de adoquines de concreto para aplicaciones municipales, por razones estéticas. Si bien su impacto visual está claramente definido, con mucha frecuencia no se entiende el pavimento de adoquines como una estructura portante. Esto puede resultar en pavimentos de adoquines de concreto que no se comporten adecuadamente desde el punto de vista estructural y los cuales, en consecuencia, disminuyen su atractivo visual.

En esta ponencia se describen y discuten tres aplicaciones municipales: Cruces peatonales, accesos para vehículos y recolocación de adoquines después de efectuar reparaciones en redes subterráneas. En el caso de los cruces peatonales construidos con adoquines, éstos se insertan, con frecuencia, en medio de pavimentos de asfalto, con el fin de darle mayor visibilidad a los cruces y mejorar la apariencia de las calles. Pero si no se le presta suficiente atención a los detalles de ingeniería, los resultados pueden ser decepcionantes. Y más adelante se discutirán dichos detalles. Los accesos para vehículos en edificios públicos deben ser capaces de soportar el tráfico que los utiliza, sin que se presente una deformación excesiva. Se presenta un ejemplo para mostrar cómo la insistencia por parte de los diseñadores en algunos detalles arquitectónicos, puede tener consecuencias desastrosas desde el punto de vista de la ingeniería. Se discute una aproximación balanceada al problema, que tenga en cuenta las consideraciones estéticas y de ingeniería, incluyendo la continuidad del soporte de las bases y

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 incluye sólo en la verisión original de cada ponencia.

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

los requisitos de drenaje. Finalmente, se presenta el uso innovador, por parte de las municipalidades del Canadá, de los adoquines de concreto para reparar pavimentos de asfalto abiertos por la reparación de redes subterráneas. Ésto, propuesto originalmente como medidas temporales para los inviernos severos, ha sido tan exitoso que se usa ahora como sistema para la reparación permanente de pavimentos.

# 1. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos de adoquines de concreto se sleccionan con frecuencia, para aplicaciones municipales, con base en su aspecto estético. La apariencia agradable de los pavimentos de adoquines los hace atractivos para los arquitectos, paisajistas y planeadores urbanos, quienes entienden claramente la imagen que desean crear. Infortunadamente, con frecuencia se padece de una comprensión igualmente clara de los aspectos de ingeniería relacionados con los pavimentos de adoquines de concreto como estructuras portantes. Esto lleva a que las características de los pavimentos de adoquines que contribuyen a la apariencia visual, sean un fracaso desde el punto de vista estructural. Cuando las consideraciones estéticas no se combinan con otras sólidas desde el punto de vista de la ingeniería, pude ocurrir la falla del pavimento, y dar al traste tanto con la integridad estructural como con la apariencia visual.

# 2. CRUCES PEATONALES

Los adoquines de concreto se usan mucho para cruces peatonales en vías con pavimentos de asfalto. Ésto parte de la idea de que el contraste entre el color y la textura de la superficie de cruce en adoquines y los de la superficie de asfalto circundante, hará que el cruce sea fácilmente identificable tanto a peatones como a conductores de vehículos. Se espera que esto lleve a menor velocidad de circulación y que incremente la seguridad de los peatones. En Bélgica [1] este tipo de cruces peatonales pueden estar compuestos por bandas alternadas de adoquines blancos y negros, y la superficie del cruce puede estar ligeramente levantada del nivel de la vía con el fin de mejorar su visibilidad y para generar un pequeño sacudón en el vehículo (similar al de los rizados generadores de ruido al borde de las vías), con el fin de promover la reducción de la velocidad del vehículo que atraviesa el cruce peatonal. En Australia [2] los cruces peatonales en adoquines de concreto pueden estar combinados con un resalto (policía acostado) para un control mayor de la velocidad.

El principio que guía la colocación de un cruce peatonal en una vía de asfalto debe ser la suspensión de la continuidad. Dado que el cruce peatonal debe soportar las cargas del tráfico, los adoquines rectangulares se deben colocar en patrón de espina de pescado (los arquitectos por lo general prefieren la colocación en hiladas). Los bordes del pavimento de asfalto deben ser limpios, cortados verticalmente con sierra de disco metálico y servirán como confinamiento, siempre y cuando tenga una capa de asfalto de, al menos, 150 mm de espesor. En el caso de capas muy delgadas de asfalto, se deben cortar con sierra y colocar un bordillo de concreto, de 200 mm de espesor, elaborado en el sitio. Con esto se busca que tanto el asfalto como el concreto retengan la capa de arena. Cualquiera que sea el material de la base, se debe utilizar el mismo debajo del pavimento del cruce peatonal, compactado a la misma densidad de manera que proporcione un soporte uniforme. Si no se hace así, por ejemplo cuando se tiene una base de material granular y se decide construir una base de concreto debajo del nuevo cruce peatonal, se debe esperar que haya problemas. Las discontinuidades introducidas asegurarán que se presenten movimientos diferenciales como consecuencia lógica de las diferentes respuestas de los materiales a las solicitaciones del tráfico y el ambiente. Además, la base de concreto puede retener agua y el cruce peatonal tenderá a comportarse como una bañera con consecuencias dañinas. Se conocen casos en los cuales el resultado ha sido la aparición de adoquines quebrados. La sección del pavimento no debe cambiar más allá del hecho de que los adoquines de 80 mm de espesor, colocados sobre 30 mm de arena, reemplacen 100 mm a 125 mm de concreto asfáltico a todo lo ancho de la vía. Las juntas se deben llenar de manera adecuada y la arena de sello se debe estabilizar con un sellante con el fin de que resistan las labores de limpieza de las calles. En algunas ciudades del Canadá, se ha llegado a la cónclusión de que los adoquines de concreto "no funcionan" en los cruces peatonales, pero la realidad es que siempre y cuando se le preste suficiente atención a los detalles de ingeniería, esto no tiene que ser así.

# 3. ACCESOS PARA VEHÍCULOS

## 3.1 DESCRIPCIÓN

La entrada a un importante edificio público en una ciudad canadiense se diseñó como un semicírculo de unos 220 m de longitud, con el acceso y la salida hacia una calle por el diámetro del semicírculo. Pareciera que en el proyecto no hubo participación de ningún ingeniero conocedor de los pavimentos de adoquines. El arquitecto paisajista sólo se preocupó por el impacto visual de la vía de acceso y seleccionó un patrón en hiladas paralelo al eje de la vía, como se muestra en la Figura 1. La vía estaba localizada sobre la losa de techo de un parqueadero, al cual los automóviles y buses tenían acceso y salida a través de rampas descendiendo de y ascendiendo a la vía, como se muestra en la Figura 2. Se debe anotar que la configuración de las rampas es tal que cada vehículo tiene que recorrer los 100 m centrales de la vía dos veces, puesto que la rampa de acceso está después de la de salida, en el sentido de la circulación de los vehículos. Se utilizaron dos tamaños de adoquines: de 105 mm x 213 mm, rectangulares, sin separadores, en la vía principal, y de 98 mm x 198 mm rectangulares, también sin sepa-

radores, para delinear los bordes del pavimento y las áreas de estacionamiento. Estos últimos se colocaron en dirección perpendicular a la de circulación, de la misma manera que los de los cruces peatonales, como lo indica la Figura 3. La sección estructural del pavimento se muestra en la Figura 4.

Se colocaron adoquines de 80 mm de espesor, a mano, sobre una capa de arena especificada como que debía ser cernida y precompactada hasta un espesor de 20 mm. El material se especificó como un tamizado de caliza entre 0 mm y 4 mm. La junta entre adoquines se especificó con un máximo de 2 mm, para ser llenada con arena gruesa barrida y compactada o inducida en la junta mediante el riego de abundante agua. Se colocó una capa de geotextil, no tejido, de 300 g/m2, de poliéster, permeable, para separar la capa de arena de la capa drenante de 100 mm de espesor. Dicha capa drenante debía ser de grava redonda, no porosa, de río, con tamaños entre 20 mm y 30 mm, bien gradada, libre de finos y extendida de tal forma que se obtuviera una superficie horizontal para luego compactarla con un vibrador mecánico (Figura 5). Debajo de la capa drenante se tenía una lámina de 150 mm de espesor de poliestireno expandido de alta densidad, con una resistencia a la compresión de 690 MPa, para que sirviera de aislamiento térmico y como lleno liviano.

## 3.2 INTENCIÓN DE DISEÑO

Dos factores parecen haber sido dominantes en el diseño: Primero, la inadecuada resistencia de la losa estructural de techo del parqueadero que forma la fundación de la vía de acceso y, segundo, la apariencia visual del pavimento. Resulta claro de la cantidad de errores de diseño que en el proceso de diseño no estuvo involucrada ninguna persona conocedora de los pavimentos de adoquines de concreto. Antes de la construcción del pavimento se encontró que la losa había sido subdiseñada y que necesitaba un refuerzo. El vehículo de diseño había sido uno de mantenimiento con una masa bruta de 8 300 kg y una presión de inflado de la llantas de 550 kPa, cuando la máxima carga sería un bus de 28 000 kg con una presión de inflado de 680 kPa. Aunque la losa fue reforzada, la preocupación por el peso del pavimento parece haber influido en el diseño. La especificación de la capa de drenaje, compuesta principalmente por grava natural de río, de un solo tamaño, parece haber sido tomada de una norma de los E.U.A. para recubrimiento de techos sin tráfico vehicular. Los detalles del membrana impermeable para el sellado de la losa contra el ingreso del agua y la capa de protección para conservar la integridad de la membrana, pareciera haber venido de la misma fuente. Si bien la capa de poliestireno expandido pareciera haber tenido una función primaria de reducir la pérdida de calor del parqueadero, también se colocó para reducir el peso del pavimento en compensación por las cargas vivas que serían mayores que las anticipadas.

El separador de geotextil se colocó para prevenir la pérdida de la arena de dicha capa hacia la de grava de gradación abierta. La elección de un tamizado de caliza como capa de arena es una práctica común en el Canadá. El material es muy barato, está fácilmente disponible y es fácil de trabajar. El origen de la decisión de colocar los adoquines sobre una superficie de arena compactada y el limitar su espesor a 20 mm se desconoce. La segunda preocupación de diseño, la apariencia visual, llevó a: la elección de las formas y colores de los adoquines y a la insistencia de colocarlos en hiladas siguiendo el eje longitudinal de la vía; y al uso de adoquines diferentes para delinear las áreas de pavimento designadas para usos diferentes.

## 3.3 PROBLEMAS

Muy poco tiempo después de abrir el pavimento al tráfico, apareció un ahuellamiento severo y los adoquines se desplazaron longitudinalmente. Mediciones posteriores mostraron ahuellamientos de hasta 70 mm de profundidad y desplazamientos longitudinales de hasta 165 mm. Los adoquines fueron físicamente desplazados del pavimento, produciendo grandes separaciones. Esto era de esperarse ya que el patrón de colocación en hiladas creó planos de deslizamiento continuos, paralelos a la dirección del tráfico, a través de toda la longitud del pavimento. Esto fue empeorado por el desplazamiento unidireccional del tráfico y por el hecho de que la trabazón no se pudo desarrollar ya que la mayoría de las juntas no pudieron ser selladas por la separación extremadamente pequeña y por el haber especificado, para el sello, una arena gruesa. Adicionalmente, se requirió aplicar agua durante el llenado de las juntas. Se sabe que esto es una contraindicación ya que lava la arena de las juntas en vez de ayudarle a entrar. El tamaño y forma de la grava de río usada como capa de drenaje fueron tales que no se podía obtener una capa cerrada ni tersa. El geotextil separador sufrió una deformación considerable para poderse adaptar a la superficie final de la capa de drenaje. No fue suficientemente resistente para aguantar las fuerzas a tensión causadas por la deformación excesiva y en consecuencia se perforó en algunos lugares, permitiendo la pérdida de arena de la capa de arena y, con ello, dando lugar a grandes deformaciones. Yendo más allá, la capa de drenaje era realmente la base del pavimento o principal capa estructural. La forma y gradación de las partículas de grava impidió una adecuada compactación y estabilidad y, en consecuencia, el pavimento no fue capaz de soportar las cargas vehiculares que le aplicaron.

Los tamizados de caliza no se deben utilizar para la capa de arena puesto que están formados por partículas de forma pobre, con formas de laja y elongadas, frágiles y que se parten en partículas más finas bajo cargas repetidas. Adicionalmente, este material es usualmente mal gradado y contiene una gran cantidad de finos. Si bien la práctica corriente busca mantener la capa de arena en un espesor mínimo, no se recomienda precompactar todo el espesor

puesto que con esto no se permitirá el posterior acomodo de las diferencias en la altura de fabricación de los adoquines. El espesor compactado, que se puede especificar de manera racional, dependerá del grado de exactitud de la superficie de la base. Aún con el mejor control de tolerancia de la superficie de la base, no se recomienda que el espesor compactado de la capa de arena sea menor de 25 mm. En el caso en discusión, donde la superficie de la base tenía una tolerancia pobre, éste espesor no se habría podido conseguir. Mediciones realizadas sobre el espesor existente variaron entre 0 mm y 12 mm en algunas partes, y entre 25 mm y 40 mm en otras. La mezcla de diferentes tamaños de adoqunes, no separados físicamente en áreas diferentes por confinamientos de concreto, hace imposible el mantener el patrón de colocación, la separación entre juntas y la trabazón, y por lo tanto compromete la integridad total de la superficie del pavimento.

Aunque el ancho de junta encontrado fue consistente en toda el área, el valor promedio varió entre un mínimo de 0,6 mm en algunos lugares a un máximo de 1,3 mm en otros. Ambos valores están por debajo de los 3 mm generalmente considerados como necesarios.

Se colocaron drenes dentro del bordillo. Se buscaba que el agua sobre la superficie llegara hasta ellos, y que el agua que entrara al pavimento también lo hiciera a través de la capa drenante. Ninguno de los dos esquemas pareció funcionar bien. Las pendientes transversales no eran adecuadas y la arena de la capa de arena migró hacia dentro de los drenes.

## 3.4 TRABAJOS DE REPARACIÓN PROPUESTOS

El pavimento, tal y como fue construido, contiene tantas fallas de diseño y construcción, y ha sufrido tanto daño que requería de una reconstrucción. Toda la estructura por encima del poliestireno expandido debía ser removida. En aquellos lugares donde el poliestireno estuviera dañado se debía reemplazar. Todas las juntas entre los bloques de poliestireno se debían sellar con una cinta adhesiva, de gran resistencia, para prevenir el movimiento. Se debía colocar un dren interno a lo largo del borde interior de la vía. Se debía colocar un material de base, triturado, de buena calidad, compactado como una base convencional, con una pendiente en su superficie del 2,5 % hacia el borde interior y con una tolerancia de ± 10 mm. Se debía colocar un geotextil más grueso, sobre el cual se debía colocar una capa de arena de cuarzo, acorde con especificaciones de gradación, con un espesor suelto de 40 mm. Se debía colocar un solo tipo de adoquín, a mano, en patrón de espina de pescado, continuo, yendo desde un extremo de la vía hasta el otro. Si se quisiera romper el patrón para demarcar cruces peatonales, se deberían hacer con confinamientos de concreto colocado en el sitio. Se debería especificar un ancho de junta de 3 mm ± 1 mm, y se debería controlar de manera estricta. Las juntas se deberían llenar con arena seca, con un tamaño máximo de 1 mm, mediante el barrido de arena y el paso repetido de un vibrocompactador de placa. La arena de la junta se debería estabilizar con un sellante elastomérico adecuado. La construcción debería ser supervisada por un ingeniero competente, con experiencia en pavimentos de adoquines.

## 4. REPARACIÓN DE BRECHAS PARA REDES

El restaurar la superficie del pavimento, después de haberlo abierto para excavar con el fin de reparar las redes de servicio subterráneas, presenta problemas particulares en climas fríos. Un método común usado en Canadá, es colocar asfalto en frío como carpeta provisional para ser reemplazada en la primavera o el verano. Esto no ha probado ser muy satisfactorio puesto que se presenta deformación en el área parchada y puede haber daño al asfalto aledaño debido al encogimiento del parche frío. En esos casos se ha tenido que colocar otra superficie en la primavera utilizando, esta vez, asfalto en caliente.

La técnica alternativa desarrollada consiste en reconstruir la superficie del pavimento utilizando adoquines de concreto colocados sobre una capa de arena y ésta sobre la brecha recién llenada con concreto, que no se encoge, como se muestra en la Figura 6. Los bordes de la abertura en el pavimento de asfalto se deben cortar de manera muy limpia, con una sierra de disco, para que puedan cumplir la función de confinamiento. Las ventajas son: (i) el lleno de concreto no se desplaza, (ii) no existe asentamiento del área parchada, (iii) la reparación es permanente y no se tiene que repetir luego cuando se tenga clima más cálido, (iv) tanto la colocación del concreto de relleno como la del pavimento de adoquines de concreto en la rodadura se puede realizar en clima adverso, condiciones de congelamiento y (v) el costo total se reduce considerablemente.

La intención original era la de que los adoquines sirvieran como reemplazo temporal del parche de asfalto en frío, y que a la vez fueran reemplazados por el asfalto en caliente en la primavera o el verano. Las experiencias con las primeras aplicaciones experimentales dieron como resultado la decisión de dejar los adoquines en el sitio como una reparación permanente. En esta aplicación dominan los criterios de ingeniería, pero la apariencia no es despreciada dado que el parche de adoquines por lo general luce mejor que el parche deformado de asfalto en frío. Dado que el inserto de adoquines es funcional y eficiente en costos, se puede argumentar el uso de los adoquines a lo ancho de toda la vía cuando sea necesario repavimentarla. Esto sería más agradable estéticamente y las futuras reparaciones de redes subterráneas se podrían hacer al levantar y reutilizar los mismos adoquines. A largo plazo, habría un beneficio económico adicional puesto que los costos de mantenimiento de un pavimento de adoquines bien construido son usualmente menores que los de un pavimento de asfalto.

## 5. LLENO DE CONCRETO FLUIDO (SIN CONTRACCIÓN)

El lleno sin contracción, conocido como lleno fluido, es un concreto de baja resistencia, diseñado para obtener una densidad controlada, sin necesidad de compactarlo, cuando se coloca como lleno de brechas para reparación o instalación de redes. Se compone de cemento Pórtland, agregados finos y gruesos y agua. Puede contener un aditivo incorporador de aire. Es un material estándar, bien controlado y disponible directamente de las plantas premezcladoras. Se diseña para que tenga una baja resistencia a la compresión, que no exceda 0,4 MPa a los 28 d. Las especificaciones típicas canadienses incluirán un máximo de 25 kg de cemento por $m^3$, un asentamiento entre 150 mm y 200 mm, el cual le permite al material fluir libremente en la brecha, y un contenido de aire total (donde se requiera aire incorporado) de 4 % a 6 %. El tiempo de fraguado debe estar entre una y dos horas. Bajo las condiciones canadienses, el costo de este sistema es menor que el de un lleno granular adecuadamente colocado y compactado, con la ventaja adicional de que no se tendrá asentamiento del lleno de la brecha.

## 6. CONCLUSIONES

1. Cuando se seleccionan los pavimentos de adoquines de concreto para aplicaciones municipales de soporte de carga, sobre la base de la apariencia visual, es esencial que los factores de ingeniería se tengan en cuenta de la manera adecuada.
2. En casos donde los pavimentos municipales se diseñan sólo con base en su apariencia arquitectónica, sin el adecuado componente de ingeniería, existe el riesgo de que fallen estructuralmente y, si eso ocurre, también perderán su atractivo visual por el cual fueron elegidos.