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

PROGRESS TOWARDS A MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM FOR CONCRETE BLOCK PAVEMENTS IN AUSTRALIA [1] [2]

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

Alan PEARSON
Executive Director
CONCRETE MASONRY ASSOCIATION OF AUSTRALIA - CMAA
Sydney, Australia

Alexandra VELLA

LEAN AND HAYWARD PTY. LTD.
Australia

SUTOYO

BINA MARGA
Indonesia

SUMMARY

Properly designed, detailed, specified and constructed concrete block pavements - CBP typically have low maintenance costs and can provide attractive and serviceable wearing surfaces for decades. However, there has not been enough information available, hitherto, on the actual in-service performance of CBP except where premature structural failure has occurred. This paper describes the initial outcomes of a long-term study initiated by the Concrete Masonry Association of Australia - CMAA to obtain information about the in-service performance of CBP in the field that can be used in the development of a pavement management system - PMS for segmental paving.

The in-service performance was quantified by performing field measurements and observations of selected sites in the Sydney environs. For these pavements, measurements were obtained of rutting, horizontal creep, chipping, cracking, lipping and joint spacing. Other observations included assessments of edge type and conditions, the conditions surrounding any utility pits, weed growth, staining and the interface of the CBP and adjacent pavement surface types.

Based on the information gained in this study, the basis of a relatively simple pavement maintenance management system is proposed for segmental pavements. This PMS is based on measurements which are simple and inexpensive to acquire but will require further research before it can be routinely implemented.

1. INTRODUCTION

In Australia and overseas CBP has been in use for many years. Common performance characteristics of CBP utilised are its aesthetic appeal, applications in traffic management and performance under high axle loads. These performance characteristics are advantageous in applications in residential streets, pedestrian applications, ports, airports, etc. To achieve acceptable in service performance of CBP, design procedures, specifications and construction practices need to be explicit to the construction industry. This has been achieved over many years with data provided from full scale testing under controlled conditions. The results have been used to produce mechanistic design procedures, construction specifications and standards.

Following the introduction of CBP to Australia in the mid-1970s, considerable research was conducted to delineate the factors affecting the performance of CBP under traffic [1] and to develop comprehensive design procedures such as the LOCKPAVE ® computer package introduced in 1986 [2]. However, as the market for CBP grows larger and more mature and as increasing areas of CBP come into service, there is a need to expand this technology to embrace the systematic maintenance of CBP. Ideally, this should be done within the context of the widespread adoption of pavement management systems PMS for other types of pavement such as asphalt.

Despite some 20 years of experience in successfully using CBP in Australia there is insufficient information on the in-service performance of CBP that could form the basis of a PMS. Except for pioneering work in the Netherlands [3, 4, 5], there has been little attention given to developing maintenance systems for

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.

segmental paving and no fully developed universal PMS appears to exist for CBP. In 1995, to address this problem the CMAA initiated a long-term study to evaluate the performance and maintenance characteristics of CBP with the objective of developing a PMS for segmental paving under Australian conditions. This paper describes the initial outcomes of this study.

2. SERVICEABILITY

Serviceability may be defined as the ability of the pavements under given service conditions to meet road user expectations as well as engineering expectations. The factors required to meet these expectations are classified as surface and structural characteristics.

For CBP the factors contributing to serviceability include:

1. **Surface factors** such as cracking, spalling, chipping, staining, abrasion wear and lipping.
2. **Structural factors** such as rutting, horizontal creep or loss of bond.

Initially, it was decided to investigate how such factors could be measured and quantified using the simplest possible methods. The question of ranking these factors was also examined.

2.1 SURFACE ATTRIBUTES

The surface characteristics chosen for study were as follows:

1. **Cracking across pavers,** expressed as the numbers of cracked pavers in a given area of paving.
2. **Chipping of paver edges,** expressed as the numbers of damaged pavers in a given area of paving.
3. **Joint width,** measured by pushing a calibrated hardened steel mandrel into the joints.
4. **Jointing sand,** measurement of the extent of joint filling expressed in terms of the depth of the sand surface below the chamfers of the pavers.
5. **Staining,** subjective assessment of tyre marks and oil stains.
6. **Weed growth,** in the joints.

2.2 STRUCTURAL ATTRIBUTES

Three structural characteristics were measured. These comprised:

1. **Rutting**: The amount of rutting was measured in two ways. First, a profilometer was used to measure the deformed shape of the pavement in the outer wheel path over a 2 m distance at right angles to the direction of traffic movement. Secondly the rutting was expressed simply as the maximum deformation measured from a 2 m straight edge. The accuracy of these measurements was ± 1 mm. Measurements were made every 5 m.
2. **Horizontal Creep**: The surfacing of all flexible pavements tends to move horizontally under the traction forces of vehicles. CBP is no exception to this rule with rectangular pavers showing the greatest creep and shaped pavers the least. Creep was measured by placing a string line from kerb to kerb across the direction of trafficking and measuring the maximum departure of the paver bond lines from the stringline to an accuracy of ± 1 mm. Measurements were made every 5 m.
3. **Unravelling**: Loss of bond in CBP is extremely rare except where rectangular pavers are used. The extent of any areas where pavers had become loose (i.e. where a paver could exhibit movement independent of the adjacent pavers) was noted within each 5 m length of pavement.

It will be noted that the structural characteristics studied are different from those for conventional asphalt PMS in that surface deflection and cracking are not relevant criteria. This is because, unlike asphalt, fatigue of the surfacing is not a failure mode for CBP.

2.3 GENERAL ATTRIBUTES

As background to developing a PMS the following additional information is needed:

1. Structural Design: Sequence type and thickness of all pavement courses. Nature and strength of the subgrade soil.
2. Paver Shape: Categorised according to Australian industry specification T44 "Guide to Specifying" [6].
3. Laying Pattern.
4. Orientation of the laying pattern to the kerbs.
5. Details of the edge restraint e.g. kerb, gutter etc.
6. Edge condition.
7. Condition of surrounds to utility pits and other pavement intrusions.
8. Junction with other types of pavement: Its type and condition.

3. FIELD STUDIES

3.1 SITE DETAILS

A wide range of concrete block pavements in the downtown and western suburbs of Sydney were selected in the pilot studies. The sites included a downtown city street, a bus terminus, a railway station forecourt, intersection and a variety of residential accessways and cul-de-sacs. The majority of the sites were surfaced, as is common in Australia, in 60 mm or 80 mm Category A shaped pavers. The basecourse materials ranged from unbound granular materials to rigid concrete. Traffic ranged over much of the spectrum expected in a large city from heavy downtown traffic to light residential traffic. The age of the projects was from about 1 to 15 years. The projects were constructed by various contractors working to comply to the requirements and specification guidelines of the local municipalities. Accord-

ingly, construction practices and standards may have varied considerably.

3.2 FIELD MEASUREMENTS

3.2.1 STRUCTURAL MEASUREMENT

Most sites were visited and accessed just once but a few were assessed a second time after a period of about 1 year had elapsed. Typical results for 10 sites are summarised in Tables 1 to 5.

Table 1 summarises the maximum rutting in terms of both its depth and width measured using the profilometer. It may be seen that rutting varied from about 1 mm to 8 mm with rut widths between about 250 mm and 1,9 m. No correlation between rut depth and width was found. For this reason, it is probably adequate to base assessments of rut depth solely on straightedge measurements. These were found to correlate very well with the profilometer measurements.

Horizontal creep was measured with respect to the direction of traffic movements. Observations of the CBP grade, bond type, orientation and conditions like tyre markings representing wheel paths etc. were noted. The location of measurements was based on judgment after considering the above observations. The measurements are summarised in Table 2.

3.2.2 SURFACE CONDITION

Table 3 illustrates the results from the statistical analysis for lipping. Australian Industry Standards state that no lipping shall not exceed 2,5 mm. The results therefore consider the cumulative percentage of lipping less than and greater than 2,5 mm. From the table it may be seen that the required maximum of 2,5 mm lipping was exceeded in less than 5 % of all joints measured.

Joint widths were measured using a calibrated probe. On most sites measurements were made at least 20 randomly selected positions. Those measurements are summarised in Table 4. It may be seen that no joint widths narrower that the 2 mm minimum commonly specified in Australia were recorded (this is necessary to prevent pavers chipping under traffic). The maximum joint widths ranged between 4 mm and 6 mm (current Australian industry specifications T45 "Design Guide for Residential Accessways and Roads" [7] allow a maximum joint width of 5 mm).

The selected sites were visually assessed by counting the number of chipped edges and centrally cracked pavers over the test area. Observations of the joint filling sand and its condition were also made to assist in the assessment. Table 5 gives the results of these measurements.

4. ASSESSMENT OF THE PAVEMENTS

The performance characteristics determined from the measurements may be summarised as follows:

Rutting depths were of the order of 3 to 8 mm over a maximum width of 375 mm to 1,375 m respectively. Rutting depths in adjacent asphalt sections were similar or less than the rutting measured on the pavers. The extent of rutting was predominantly along the vehicle wheel paths adjacent to the kerb returns, where braking, accelerating and slewing forces are exerted. Different basecourse layer types displayed similar rutting depths.

Paver crowning values overall were slightly larger than crowning measurements recorded on adjoining asphaltic concrete surface pavements. Crowning does not adversely affect the in-service performance of concrete block paving.

Less than 5 % of lipping readings exceeded the recommended tolerance of 2,5 mm. However, Sites H and I which exhibited loss of joint filling sand, also recorded the highest incidence of chipping.

Horizontal creep occurred on all sites, except one where no creep was recorded. Values on average were 20 mm to 25 mm, which were similar to measurements recorded in other tests on pavers under simulated traffic conditions. Measurements in excess of 25 mm were recorded at two sites. Bond orientation and pavement gradient can affect creep movement. However, sites with steep gradients recorded creep measurement not exceeding 25 mm. Creep measurements on the different bond orientations encountered were similar.

The extent of chipping and cracking recorded for the appropriate surface areas would not significantly impact on the structural performance of the pavers or the integrity of the pavement overall.

Adopting a conventional approach to PMS, where horizontal creep is ignored, the effects of the principal chosen mechanisms can be summarised as shown in Table 6.

5. INTER - RELATIONSHIPS BETWEEN DISTRESS TYPES

The interactions and correlations between the various distress mechanisms are summarised in Table 7. From this table it may be seen that in general, there was little correlation between the various measurements. In other words, there appears to be no dominant or single measurement that, by itself, can be used to assess the condition of CBP. Rather, any basis for a PMS will need to consider a range of distress types.

6. DEVELOPMENT OF A PMS FOR CBP

In outline, a basic PMS for concrete block paving involves the steps shown in Figure 1.

To date the pilot studies of CBP in Sydney have served to identify and quantify the different types of distress. This work suggests that the distress mechanisms can be ranked in the following order of

importance (high to low) as:

1. Rutting.
2. Horizontal creep.
3. Spalling.
4. Cracking.
5. Lipping.

The role of other factors such as joint width, staining etc. are, as yet, insufficiently defined to warrant their inclusion in a PMS. Yet, it cannot be said that such factors are inconsequential.

With reference to Figure 1, it is proposed that a pavement condition index be defined by the following steps.

1. Multiply the existing distress (severity), S, by weight, W, and extent, E, of distress.
2. Divide by the threshold value (i.e. the value at which maintenance becomes desirable).
3. Repeat for all types of distress and calculate a rating score from.

$$RS = \frac{S \times W \times E}{100} \quad (1)$$

Where:

S: Severity (unit of distress, i.e. mm, for lipping and rutting, and % for spalling and cracking).
W: Weight.
E: Extent (%).
T: Threshold value.

Sum the rating scores, RS, for all forms of distress to give a total rating score, TRS. The pavement condition index can be calculated using the following equation:

$$PCI = 100 - TRS \quad (2)$$

High values of PCI represent high quality pavements with high serviceability.

To implement this approach requires the assessment of suitable weightings, W, to represent the relative importance of the different types of distress. At present, subjective assessment of the data tends to place structural distress such as rutting ahead of surface distress such as cracking in terms of importance but further work is needed to define W.

Appropriate values of the terminal condition, T, also need to be chosen. Pending further research, the values given in Table 8 are tentatively proposed.

Work is proceeding to assess the importance of the weighting values, W, and to verify the terminal values, T, given in Table 8. Only when this is complete will it be possible to proceed to the next steps in the sequence given in Figure 1. A particular problem here will be to define the concept of pavement life for CBP. In this respect it is noted that there are many examples of CBP in the southern hemisphere which have now been in service for periods of 30 years or more without significant distress or maintenance. This means that the conventional notions of pavement life developed for asphalt pavements may not apply to CBP. Nor do the concepts of CBP life developed in Holland [3] necessarily apply elsewhere. For this reason increasing attention will need to be directed towards evaluating CBP with good long-term serviceability histories.

7. SUMMARY AND CONCLUSIONS

The work completed to date in the pilot studies of the serviceability of CBP in Australia indicate that:

1. CBP manifests distress as both structural damage such as rutting and creep and as a variety of surface defects such as cracking, spalling and lipping.
2. There appear to be no strong or useful correlations between the different mechanisms of distress.
3. Rutting appears to be the dominant distress mechanism.
4. Tentative threshold values of both structural and surface distress can now be formulated but need to be verified.
5. It is feasible to rank pavements in terms of a pavement condition index, PCI. However, further work is needed before PCI can be used as a routine tool for CBP.
6. The concepts of service life need to be further researched for CBP.

Work is proceeding in Australia in all of the above areas. The basis for a PMS for Australian conditions has been outlined. Further research is in progress so that this PMS can be formulated in detail.

8. REFERENCES

1. SHACKEL, Brian. The Design and Construction of Interlocking Concrete Block Pavements. -- London : Elsevier, 1991. -- 229P.

2. SHACKEL, Brian. Computer Methods for Segmental Concrete Pavement Design. -- P.28-46. // In : CONCRETE SEGMENTAL PAVING WORKSHOP (16 : 1992 : Perth). Proceedings. -- Perth : Australian Road Research Board, 1992. -- P.v.

3. BELD, H. Van Der and DUIVEN, P. H. Maintenance Planning System for Block Pavements. -- P.246-262. // In : CONCRETE BLOCK PAVING : INTERNATIONAL CONFERENCE (2 : 1984 : Delft). Proceedings. -- Delft : CBP, 1984. -- 349P.

4. THIJSSE, A. W. G. The Relationship Between the Maintenance of Infrastructure Above and Below the Ground. -- P.199-202. // In : CONCRETE BLOCK PAVING : INTERNATIONAL CONFERENCE (3 : 1988 : Roma). Proceedings. -- Treviso : Pavitalia, 1988. -- 497P.

5. KUPERUS, E., GRAMMER, F. L., GROENENDIJK, J. and KUNST, P. A. J. C. The Zaanstad-Viaview Pavement Management System for Block Pavements. --

P.187-197. // In : CONCRETE BLOCK PAVING : PAVE NEW ZEALAND'92 : INTERNATIONAL CONFERENCE (4 : 1992 : Auckland). Proceedings. -- Porirua : C&CA of NZ, 1992. -- 3 Vol.

6. CONCRETE MASONRY ASSOCIATION OF AUSTRALIA. Guide to Specifying Concrete Segmental Pavements. -- North Sydney : CMAA, 1997. -- P.v. -- (Concrete Segmental Pavements T44).

7. CONCRETE MASONRY ASSOCIATION OF AUSTRALIA. Design Guide for Residential Accessways and Roads. -- North Sydney : CMAA, 1997. -- P.v. -- (Concrete Segmental Pavements T45).

SITE *LUGAR*	MAXIMUM DEPTH OF RUTTING (mm) *PROFUNDIDAD MÁXIMA DE AHUELLAMIENTO*	MAXIMUM WIDTH OF RUTTING *ANCHO MÁXIMO DE AHUELLAMIENTO* (mm)
A	3,5	940
B	5,0	1 300
C	3,5	1 440
D	4,0	1 565
E	8,0	1 815
F	1,5	250
G	6,0	1 065
H	4,0	875
I	5,0	1 875
J	3,0	875

Table 1. Rut Depths.
Tabla 1. *Profundidad y ancho de los ahuellamientos.*

SITE *LUGAR*	AT SECTION *SECCIÓN*	HORIZONTAL MOVEMENT	*DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL*
A	I	25 mm away from the direction of traffic	*25 mm fuera de la dirección del tráfico*
B	C	10 mm away from the direction of traffic	*10 mm fuera de la dirección del tráfico*
	B	20 mm in the direction of traffic	*20 mm en la dirección del trafico*
C	D	15 mm away from the direction of traffic	*15 mm fuera de la dirección del tráfico*
	F	20 mm in the direction of traffic	*20 mm en la dirección del trafico*
	G	10 mm in the direction of traffic	*10 mm en la dirección del trafico*
	H	20 mm in the direction of traffic	*20 mm en la dirección del trafico*
		No creep movement at B and C	*No hubo desplazamiento ni en B ni en C*
D	A	25 mm in the direction of traffic	*25 mm en la dirección del trafico*
	B	20 mm in the direction of traffic	*20 mm en la dirección del trafico*
	C	<10 mm in the direction of traffic	*10 mm en la dirección del trafico*
E		no creep measured	*No se midió desplazamiento*
F	A	<10 mm in the direction of traffic	*10 mm en la dirección del trafico*
	B	20 mm in the direction of traffic	*20 mm en la dirección del trafico*
	E	20 to 35 mm in the direction of traffic	*De 20 a 35 mm en la dirección del tráfico*
G	A	10 to 15 mm in the direction of traffic	*De 10 a 15 mm en la dirección del tráfico*
H	A	15 to 20 mm away from the direction of traffic	*De 15 a 20 mm fuera de la dirección del tráfico*
	B	15 mm in the direction of traffic	*15 mm en la dirección del trafico*
	C	10 mm in the direction of traffic	*10 mm en la dirección del trafico*
	D	15 mm in the direction of traffic	*15 mm en la dirección del trafico*
I	C	20 mm in the direction of traffic	*20 mm en la dirección del trafico*
	D	20 mm in the direction of traffic	*20 mm en la dirección del trafico*
	E	20 mm in the direction of traffic	*20 mm en la dirección del trafico*
	G	20 mm in the direction of traffic	*20 mm en la dirección del trafico*
	H	20 mm away from the direction of traffic	*20 mm fuera de la dirección del tráfico*
	I	20 mm away from the direction of traffic	*20 mm fuera de la dirección del tráfico*
J	C	15 mm in the direction of traffic	*15 mm en la dirección del trafico*
	D	20 to 30 mm in the direction of traffic	*De 20 a 30 mm en la dirección del trafico*
	E	10 to 15 mm away from the direction of traffic	*De 10 a 15 mm fuera de la dirección del tráfico*
	F	25 mm in the direction of traffic	*25 mm en la dirección del trafico*
	G	15 - 20 mm away from the direction of traffic	*De 15 a 20 mm fuera de la dirección del tráfico*

Table 2. Horizontal Creep Measurements.
Tabla 2. *Mediciones de desplazamiento horizontal.*

SITE *LUGAR*	MAXIMUM LIPPING (mm) *MÁXIMO ESCALONAMIENTO*	CUMULATIVE NOT EXCEEDING 2,5 mm *LOS QUE NO EXCEDEN 2,5 mm (% ACUMULADO)*	% GREATER THAN 2,5 mm *LOS MAYORES QUE 2,5 mm (%)*
A	4	99	1
B	5	96	4
C	2	100	0
D	2,5	100	0
E	2,5	100	0
F	3	97	3
G	2,5	100	0
H	4	95	5
I	3	98	2
J	3	98	2

Table 3. Lipping Measurements.
Tabla 3. *Mediciones de escalonamientos entre adoquines.*

SITE *LUGAR*	MAXIMUM JOINT SPACING RECORDED (mm) *MÁXIMO ANCHO DE JUNTA REGISTRADO*	MINIMUM JOINT SPACING RECORDED (mm) *MÍNIMO ANCHO DE JUNTA REGISTRADO*	% CUMULATIVE BETWEEN 2- 3 mm *ANCHOS ENTRE 2 Y 3 mm (% ACUMULADO)*	% EXCEEDING 3,5 mm *ANCHOS QUE EXCEDEN 5 mm (%)*
A	5	2	75	15
B	3	2	100	0
C	4	2	69	15
D	4	2	74	13
E	5	2	69	25
F	6	2	45	32
G	6	2	43	31
H	5	3	45	33
I	6	3	12	46
J	4	3	35	7,5

Table 4. Joint Width Measurement.
Tabla 4. *Mediciones del ancho de junta.*

SITE *LUGAR*	AREA (m^2) *ÁREA*	CHIPPED PAVERS *ADOQUINES DESBORDADOS*	CHIPPED PAVERS PER m^2 (%) *ADOQUINES DESBORDADOS POR m^2 (%)*	CRACKED PAVERS *ADOQUINES FISURADOS*	CRACKED PAVERS PER m^2 (%) *ADOQUINES FISURADOS POR m^2 (%)*
A	90	9	0,1	8	0,1
B	60	8	0,13	1	0,13
C	60	20	0,33	0	0
D	-	0	0	0	0
E	550	6	0,01	2	0,003
F	90	21	0,23	23	0,25
G	140	13	0,09	2	0,01
H	120	19	0,16	4	0,03
I	900	39	0,04	28	0,03
J	60	47	0,78	8	0,13

Table 5. Chipping and Cracking Measurements.
Tabla 5. *Medición de unidades desbordadas y fisuradas.*

DISTRESSES *DETERIOROS*	OBSERVATIONS	*OBSERVACIONES*
Rutting ***Ahuellamiento***	• Rut depth values increase with increasing traffic. • More dominant than other types of distress. • Low correlation with other distress and almost independent of other distress.	• *El ahuellamiento se incrementa con el tráfico.* • *Más dominante que otros tipos de deterioro.* • *Poca correlación con otros deterioros y casi independiente de ellos.*
Lipping ***Escalonamiento***	• All locations of measurement showed lipping, despite this, the average value of lipping is less than 3 mm. • As with rutting. lipping had a low correlation with other distress. • Lipping is the earliest indication of spalling and cracking.	• *Todos los puntos evaluados mostraron escalonamientos; a pesar de esto el valor promedio es menor que 3 mm.* • *Igual que para el ahuellamiento, el escalonamiento tiene poca correlación con otros deterioros.* • *El escalonamiento es la más temprana indicación de descascaramiento y fisuración futuros.*
Cracking ***Fisuración***	• Residential areas had a higher number of cracks than engineered pavements. • Cracks tend to develop at the middle of individual pavers and as an extension from both sides of the adjacent pavers. • The strength of layers below the pavers plays an important role for cracking to occur. • Cracks may be caused by non-uniformity of strength of the layers below the pavers. • Cracks do not influence riding comfort but contribute to further development of other distresses, such as pumping or loose pavers. • Material quality of the paver may influence the occurrence of cracking.	• *Las áreas residenciales tuvieron un mayor número de fisuras que los pavimentos para tráfico pesado.* • *Las fisuras tienden a aparecer en la mitad del adoquín, como continuación de las juntas adyacentes.* • *La resistencia de las capas subyacentes a los adoquines juegan un papel importante en la fisuración.* • *Las fisuras las puede causar la falta de uniformidad en la resistencia de las capas subyacentes a los adoquines.* • *Las fisuras no afectan la comodidad de la circulación pero contribuyen al desarrollo futuro de otros deterioros, como bombeo o adoquines sueltos.* • *La calidad del material del adoquín puede influir en la aparición de fisuras.*
Spalling ***Descascaramiento***	• Residential areas had a higher incidence of spalling than engineered pavements. • Spalling is a functional distress, with a low contribution to the extension of other distresses. • The strength of layers below the pavers play an important role in the occurrence of spalling. • Material quality of the paver may influence the occurrence of spalling.	• *Las áreas residenciales tuvieron una incidencia mayor de descascaramiento que los pavimentos para tráfico pesado.* • *El descascaramiento es un deterioro funcional, con poca contribución a la propagación de otros deterioros.* • *La resistencia de las capas subyacentes a los adoquines juegan un papel importante en el descascaramiento.* • *La calidad del material del adoquín puede influir en la aparición de descascaramientos.*

Table 6. Summary of Pavement Distress.
Tabla 6. *Resumen de los deterioros en el pavimento.*

INTERACTIONS *INTERACCIONES*	DESCRIPTIONS	*DESCRIPCIONES*
Rutting/Lipping ***Ahuellamiento/Escalonamiento***	• Rutting is more dominant than lipping and it can be said that lipping was almost constant under the fluctuations of the rutting value, especially over 6 mm of rut depth. • No correlation between rutting and lipping.	• *El ahuellamiento es más dominante que el escalonamiento y se puede decir que el escalonamiento fue constante para todos los valores de ahuellamiento, especialmente para valores mayores de 6 mm.* • *No existe correlación entre ahuellamiento y escalonamiento.*
Rutting/Spalling ***Ahuellamiento/Desbordamiento***	• In the range of 2 mm to 6 mm of rut depth, the value of spalling was variable. • Values of spalling tended to increase when the value of the rutting increased. • A low correlation between rutting and spalling.	• *En el rango de 2 mm a 6 mm de ahuellamiento, el valor de descascaramiento fue variable.* • *Los valores de descascaramiento tienden a incrementarse cuando el valor del ahuellamiento se incrementa.* • *Existe una correlación pobre entre el ahuellamiento y el descascaramiento.*
Rutting/Cracking ***Ahuellamiento/Fisuración***	• For all sections, it can be said that cracking appeared to have no correlation with rutting. For various rut depths the value of cracking was almost constant. • Even in some suburban areas there was a negative correlation between rutting and cracking.	• *Para todas las secciones, se puede decir que la fisuración pareciera no tener correlación con el ahuellamiento. Para varios valores de ahuellamiento, la fisuración fue casi constante.* • *Aún en alguna áreas suburbanas, hubo una correlación negativa entre ahuellamiento y fisuración.*
Lipping/Spalling ***Escalonamiento/ Descascaramiento***	• At low percentages of spalling, (< 0,6 %), there were various values of lipping. At a high percentage of spalling, the lipping decreased. • Lipping was more dominant than spalling (frequency of lipping was higher than spalling). • Spalling tended to decrease as lipping decreased. • A low correlation between lipping and spalling.	• *Con bajos porcentajes de descascaramiento (< 0,6 %), se tuvieron varios valores de escalonamiento. A porcentajes altos, el escalonamiento decreció.* • *El escalonamiento fue más dominante que el descascaramiento (la frecuencia del escalonamiento fue mayor que la de descascaramiento).* • *El descascaramiento tiende a disminuir al disminuir el escalonamiento.* • *Existe una correlación pobre entre el escalonamiento y el descascaramiento.*
Lipping/Cracking ***Escalonamiento/ Fisuración***	• Cracking was almost constant at the various values of lipping. • Lipping was more dominant than cracking. (Frequency of lipping higher than cracking). • Lipping tended to increase when cracking increased. • A low correlation between lipping and cracking.	• *La fisuración fue casi constante para todos los valores de escalonamiento.* • *El escalonamiento fue más dominante que la fisuración (la frecuencia del escalonamiento fue mayor que la de fisuración).* • *El escalonamiento tiende a incrementarse al incrementarse la fisuración.* • *Existe una correlación pobre entre escalonamiento y fisuración.*
Spalling/Cracking ***Desascaramiento/ Fisuración***	• At the bus terminal and in suburban areas, spalling was more dominant than cracking. • Spalling tended to increase when cracking increased. • A low correlation between spalling and cracking.	• *En el terminal de buses y en áreas suburbanas, el descascaramiento fue más dominante que la fisuración.* • *El descascaramiento tiende a incrementarse al incrementarse la fisuración.* • *Existe una correlación pobre entre el descascaramiento y la fisuración.*

Table 7. Inter-relationships Between Distress Types.
Tabla 7. *Interrelación entre los tipos de daños.*

DISTRESS / *DAÑO*	THRESHOLD VALUE / *VALOR LÍMITE*
Rutting / *Ahuellamiento*	15 mm
Maximum horizontal creep / *Desplazamiento horizontal máximo*	50 mm
Cracking / *Fisuración*	2 pavers (*adoquines*) / 100 m^2
Chipping / *Desbordamiento*	3 pavers (*adoquines*) / 100 m^2
Lipping > 2,5 mm / Escalonamiento > *2,5 mm*	5 %

Table 8. Terminal Distress Values.
Tabla 8. *Valores límites para los daños.*

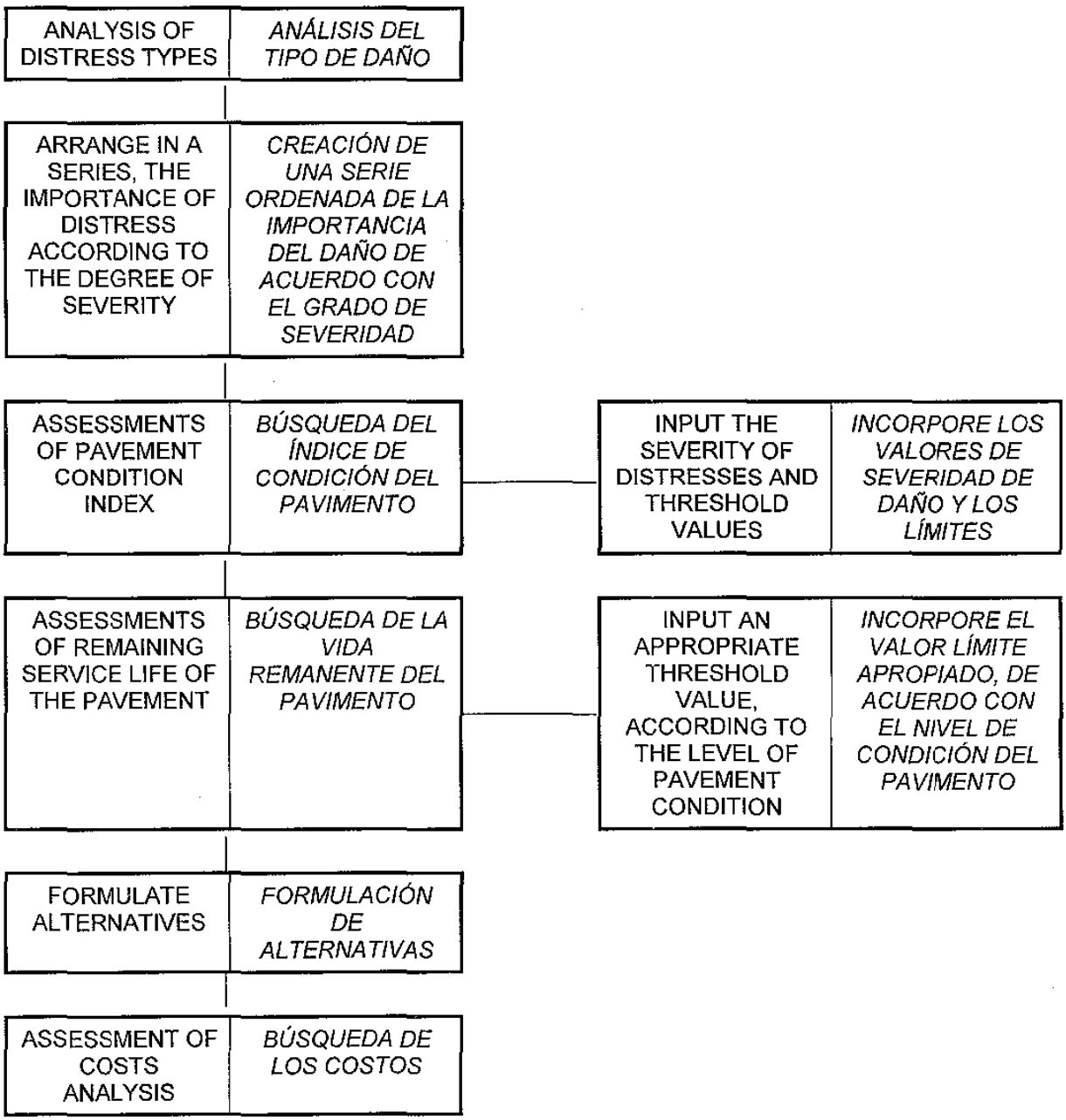

Figure 1. Basis for a PMS.
Figura 1. *Bases para un SAP.*

AVANCES HACIA UN SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN PARA PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO EN AUSTRALIA [3] [4]

Brian SHACKEL
Escuela de Ingeniería Civil y Ambiental
UNIVERSIDAD DE NUEVA GALES DEL SUR
Sydney, Australia

Alan PEARSON
Director Ejecutivo
ASOCIACIÓN DE MAMPOSTERÍA DE CONCRETO DE AUSTRALIA - CMAA
Sydney, Australia

Alexandra VELLA

LEAN AND HAYWARD PTY. LTD.
Australia

SUTOYO

BINA MARGA
Indonesia

RESUMEN

Los pavimentos de adoquines de concreto correctamente diseñados, detallados, especificados y construidos tienen, corrientemente, costos de mantenimiento más bajos y proveen superficies atractivas y en buen servicio durante décadas. Sin embargo, no ha habido suficiente información disponible acerca del desempeño en servicio del pavimento de adoquines de concreto, excepto cuando ha ocurrido una falla prematura. Este documento describe los resultados iniciales de un estudio a largo plazo iniciado por la Asociación de Mampostería de Concreto de Australia - CMAA para obtener información sobre el desempeño en servicio en el campo, del pavimento de adoquines de concreto, que pueda ser utilizada en el desarrollo de un sistema de administración de pavimentos para el pavimento de adoquines.

El desempeño en servicio se cuantificó por medio de mediciones en el campo y de observaciones, de sitios seleccionados en los alrededores de Sydney. Para estos pavimentos se obtuvieron mediciones del ahuellamiento, los desplazamientos horizontales, los desbordamientos, la fisuración, el escalonamiento y el ancho de junta. Otras observaciones incluyeron la evaluación del tipo de confinamiento lateral y sus condiciones, el estado de la zona alrededor de cualquier pequeño agujero, el crecimiento de hierba, las manchas en la superficie y la intersección entre los pavimentos de adoquines de concreto y otros tipos de pavimentos adyacentes.

Basados en la información obtenida en este estudio, se proponen las bases para el mantenimiento, relativamente simple, para pavimentos de adoquines. Este sistema de administración de pavimentos está basado en mediciones que son simples y poco costosas de obtener pero que requieren de investigación futura antes de su implementación rutinaria.

1. INTRODUCCIÓN

En Australia y en el exterior, el pavimento de adoquines de concreto se ha utilizado desde hace muchos años. Las características comunes de comportamiento del pavimento de adoquines de concreto utilizado incluyen su apariencia estética, aplicaciones en el manejo de tráfico y pavimentos para grandes cargas de eje. Estas características de desempeño son ventajosas para su utilización en calles residenciales, aceras, puertos, aeropuertos, etc. Para lograr desempeños aceptables, en servicio, de los pavimentos de adoquines de concreto, se requiere que los procedimientos de diseño, las especificaciones y las prácticas de construcción se den a conocer a la industria de la construcción. Esto se ha logrado por muchos años con datos provenientes de pruebas a gran escala bajo condiciones controladas. Los resultados han sido utilizados para elaborar procedimientos de diseño mecánisticos, especificaciones de construcción y normas.

Después de la introducción del pavimento de adoquines de concreto en Australia a mediados de los años 70 se realizó una investigación considerable para delinear los factores que afectan el desempeño

[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 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.

del pavimento de adoquines de concreto bajo tráfico [1] y para desarrollar un procedimiento de diseño bien completo, como el programa para computadores LOCKPAVE ® introducido en 1986 [2]. Sin embargo, a medida que el mercado para el pavimento de adoquines de concreto se vuelve más grande y más maduro, y a medida que entran en servicio mayores áreas con pavimento de adoquines de concreto, existe la necesidad de expandir esta tecnología para abarcar el mantenimiento sistemático del pavimento de adoquines de concreto. Esto se debería hacer, idealmente, dentro del contexto de la amplia adopción de sistemas de administración de pavimentos para otros tipos de pavimento como el de asfalto.

A pesar de tenerse más o menos 20 años de experiencia exitosa en la utilización del pavimento de adoquines de concreto en Australia, existe poca información acerca del desempeño en servicio del pavimento de adoquines de concreto, que pudiera servir de base para un sistema de administración de pavimentos. Excepto por un trabajo pionero en los Países Bajos [3, 4, 5], se le ha dado poca importancia a desarrollar sistemas de mantenimiento para el pavimento de adoquines y no parece existir un sistema de administración de pavimentos universal, completamente desarrollado, para el pavimento de adoquines de concreto. En 1995, con el fin de enfrentar este problema, la CMAA inició un estudio a largo plazo para evaluar las características de desempeño y mantenimiento del pavimento de adoquines de concreto, con el fin de desarrollar un sistema de administración de pavimentos para el pavimento de adoquines bajo las condiciones Australianas. Este documento describe los resultados iniciales de dicho estudio.

2. CALIDAD DEL SERVICIO

La calidad del servicio se puede definir como la habilidad del pavimento, sometido a ciertas condiciones de servicio, para satisfacer las expectativas de los usuarios y las expectativas de ingeniería. Los factores requeridos para alcanzar dichas expectativas están clasificados como características de superficie y características estructurales.

Para el pavimento de adoquines de concreto los factores que contribuyen a la calidad del servicio incluyen:

1. **Factores de superficie** tales como fisuración, descascaramiento, desbordamiento, manchas, desgaste por abrasión y escalonamiento.
2. **Factores estructurales** tales como ahuellamiento, desplazamiento horizontal o pérdida de unión.

Inicialmente se comenzó a investigar como podrían ser medidos y cuantificados estos factores, utilizando los métodos más simples posibles. La forma de catalogar estos factores también fue materia de estudio.

2.1 ATRIBUTOS DE SUPERFICIE

Las características escogidas para el estudio fueron las siguientes:

1. **Fisuración de los adoquines,** expresada como el número de bloques fisurados en un área especifica de pavimento.
2. **Desbordamiento,** expresado como el número de adoquines dañados en una cierta área del pavimento.
3. **Espesor de junta,** medido empujando un mandril de acero endurecido calibrado hacia adentro de las juntas.
4. **Arena de junta,** medida de la extensión del llenado de las juntas, expresado en términos de la profundidad de la superficie de la arena bajo los biseles de los adoquines.
5. **Manchas,** evaluación subjetiva de las marcas dejadas por las llantas y de las manchas de aceite.
6. **Crecimiento de hierba,** en las juntas.

2.2 ATRIBUTOS ESTRUCTURALES

Se midieron tres características estructurales:

1. **Ahuellamiento.** El nivel de ahuellamiento se midió de dos formas: Primero, se utilizó un perfilómetro para medir las deformaciones del pavimento en la huella de la llanta exterior sobre una distancia de 2 m en ángulo recto con la dirección del tráfico. Segundo, el ahuellamiento se expresó simplemente como la deformación máxima medida a partir de una regla de 2 m. La aproximación de estas mediciones fue de ± 1 mm. Se tomaron mediciones cada 5 m.
2. **Desplazamiento Horizontal.** La superficie de todos los pavimentos flexibles tiende a moverse horizontalmente bajo la fuerza de tracción de los vehículos. El pavimento de adoquines de concreto no es la excepción de la regla, siendo los adoquines rectangulares los que muestran el máximo desplazamiento horizontal y los adoquines con otras formas el mínimo. Se midió el desplazamiento colocando una cuerda de bordillo a bordillo atravesando la dirección del tráfico y midiendo el desplazamiento máximo de las juntas entre adoquines de la recta de la cuerda, con una aproximación de ± 1 mm. Se efectuaron mediciones cada 5 m.
3. **Desunión.** La pérdida de unión en el pavimento de adoquines de concreto es extremadamente rara a no ser cuando se usan adoquines rectangulares. La extensión de las áreas donde se aflojaron los adoquines (es decir donde un adoquín se podía mover independiente del adyacente) se pudo evaluar cada 5 m, a lo largo del pavimento.

Se notó que las características estructurales estudiadas difieren de las de los sistemas de administración de pavimentos para pavimentos de asfalto convencionales en cuanto a que la deflexión y fisuración de la superficie no son criterios relevantes. Esto es debido a que, a diferencia del asfalto, la fatiga de la

superficie no es una forma de falla del pavimento de adoquines de concreto.

2.3 ATRIBUTOS GENERALES

Como respaldo para desarrollar una sistema de administración de pavimentos, se requiere de la siguiente información adicional:

1. Diseño estructural: Secuencia, tipo y espesor de todas las capas del pavimento. Naturaleza y resistencia de la subrasante.
2. Forma del adoquín: Caracterizado de acuerdo con las especificaciones de la industria Australiana T44 "Guía para especificación" [6].
3. Patrón de colocación.
4. Orientación del patrón de colocación con relación a los bordillos.
5. Detalles de los confinamientos laterales, como bordillos, cunetas, etc.
6. Condiciones de los cantos.
7. Condiciones de los alrededores de los cárcamos de y otras intrusiones en el pavimento.
8. Intersecciones con otros tipos de pavimento: Su tipo y estado.

3. ESTUDIOS DE CAMPO

3.1 DETALLES DEL SITIO

Para los estudios piloto, se seleccionó un amplio rango de pavimentos de adoquines de concreto en el centro de la ciudad y en los suburbios del occidente de Sydney. Los sitios incluyeron una calle en el centro de la ciudad, una terminal de buses, una estación de ferrocarril y una variedad de intersecciones, vías de acceso residenciales y vías sin salida. La mayoria de los sitios tenían superficies, como es común en Australia, de adoquines de forma Tipo A, de 60 mm u 80 mm de espesor. Los materiales de base iban desde materiales granulares hasta concreto rígido. El tráfico estaba dentro del rango esperado para una gran ciudad desde tráfico pesado del centro de una ciudad hasta el tráfico liviano de las zonas residenciales. La edad de los proyectos estaba entre 1 y 15 años. Los proyectos fueron construidos por varios contratistas que buscaron cumplir con las normas y especificaciones técnicas de las localidades. Por esto, las prácticas de construcción y las normas pueden haber variado considerablemente.

3.2 MEDICIONES DE CAMPO

3.2.1 MEDICIONES ESTRUCTURALES

La mayoría de los sitios se evaluaron una vez, y sólo unos cuantos se cuantificaron por una segunda vez después de un año. Los resultados tipicos de 10 lugares están resumidos en las Tablas 1 a 5.

La Tabla 1 resume el ahuellamiento máximo en términos de su profundidad y ancho, utilizando el perfilómetro. Se puede apreciar que el ahuellamiento varió entre 1 mm a 8 mm con anchos entre 250 mm y 1,9 m. No se encontró ninguna correlación entre la profundidad y el ancho del ahuellamiento. Por esta razón probablemente puede ser adecuado valorar el ahuellamiento sólo con base en la información de la regla. Se encontró que estas mediciones se correlacionaban muy bien con las mediciones del perfilómetro.

El desplazamiento horizontal se midió con respecto a la dirección del tráfico. Se anotaron las observaciones de la pendiente del pavimento de adoquines de concreto, tipo de patrón, orientación y condiciones como marcas de las llantas representando las rutas de las llantas, etc. Los sitios para las mediciones se definieron con el criterio resultante de las anteriores observaciones. Las mediciones se resumen en Tabla 2.

3.2.2 CONDICIONES DE LA SUPERFICIE

La Tabla 3 muestra los resultados de los análisis estadísticos del escalonamiento. Las normas de la industria Australiana especifican que el escalonamiento no debe superar los 2,5 mm. Los resultados entonces consideran el porcentaje acumulado de escalonamiento como menor que 2,5 mm o mayor que 2,5 mm. Se puede deducir de la Tabla 3 que el porcentaje máximo de escalonamiento de 2,5 mm, sólo se excedió en menos del 5 % de la totalidad de las juntas medidas.

El espesor de las juntas se midió utilizando una regla calibrada. En la mayoría de los sitios las mediciones se realizaron en, al menos, 20 posiciones seleccionadas al azar. Estas mediciones se resumen en la Tabla 4. Se puede apreciar que no hubo espesores de junta menores que los 2 mm mínimos especificados en Australia (esto es necesario para prevenir el desbordamiento del pavimento bajo el tráfico). El espesor máximo de junta varió entre 4 mm y 6 mm (las especificaciones actuales Australianas T45 "Guía de diseño para vías de acceso residenciales y carreteras" [7] permiten un máximo espesor de junta de 5 mm).

Los sitios seleccionados se evaluaron visualmente contando el número de bordes desbordados y los adoquines fisurados en el centro en toda el área de ensayo. Se hicieron observaciones también acerca del llenado de la junta con la arena de sello y su condición con el fin de contribuir a la evaluación. La Tabla 5 muestra los resultados de estas mediciones.

4. EVALUACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

Las características de desempeño, determinadas a partir de las mediciones, se pueden resumir de la siguiente manera:

Las profundidades de ahuellamiento fueron del orden de 3 mm a 8 mm sobre un ancho máximo entre 375 mm y 1,375 m respectivamente. La profundidad de ahuellamiento en las secciones adyacentes de asfalto fue similar o menor a las mediciones de ahuellamiento de los adoquines. La extensión del ahuellamiento se vio primordialmente a lo largo de las

huellas de los vehículos que están adyacentes a las curvas de los bordillos, donde se presentaban frenado, acelerado, y giro. Los distintos tipos de bases se comportaron de forma similar en cuanto a la profundidad de ahuellamiento.

El remate del pavimento de adoquines de concreto fue, en general, un poco mayor que el de los pavimentos de asfalto adyacentes. Los remates no afectan el comportamiento en servicio de los pavimentos de adoquines de concreto.

Menos del 5 % de las lecturas de escalonamiento excedieron la tolerancia recomendada de 2,5 mm. Sin embargo, los Sitios H e I que mostraron pérdida de arena en las juntas, también mostraron la mayor incidencia al desbordamiento.

Se apreció desplazamiento horizontal en todos los sitios, excepto uno. Los valores fueron, en promedio, de 20 mm a 25 mm, similares a los registrados en otras evaluaciones de pavimentos bajo condiciones simuladas de tráfico. Se dieron mediciones superiores a los 25 mm en dos lugares. La orientación del patrón de colocación y la pendiente del pavimento pueden afectar el desplazamiento. Sin embargo, los sitios con pendientes escarpadas mostraron unas medidas de desplazamiento que no excedían los 25 mm. Las medidas de desplazamiento para diferentes orientaciones fueron similares.

La extensión del desbordamiento y de la fisuración registrados para las áreas adecuadas, no tuvo un impacto significativo en el desempeño estructural de los adoquines o en la integridad total del pavimento.

Adoptando una aproximación convencional al sistema de la administración de pavimentos, donde se ignora el desplazamiento horizontal, los efectos de los principales mecanismos escogidos se pueden resumir como se muestra en la Tabla 6.

5. INTERACCIÓN ENTRE LOS TIPOS DE DETERIORO

Las interacciones y correlaciones entre los diferentes tipos de deterioro se muestran en la Tabla 7. Se puede deducir de esta Tabla que hubo muy poca correlación entre las diferentes medidas. En otras palabras, no parece que exista una medida dominante o singular, que por sí misma pueda ser utilizada para valorar las condiciones del pavimento de adoquines de concreto. Más bien, cualquier base para un sistema de administración de pavimentos debe considerar un rango mayor de tipos de deterioro.

6. DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS PARA PAVIMENTOS DE ADOQUINES DE CONCRETO

Un bosquejo de un sistema básico de administración de pavimentos de adoquines de concreto, incluye los pasos mostrados en la Figura 1.

A la fecha, los estudios piloto de pavimentos de adoquines de concreto en Sydney han sido de utilidad para cuantificar e identificar las diferentes clases de desgaste. Este trabajo sugiere clasificar los mecanismos de deterioro en el siguiente orden:

1. Ahuellamiento
2. Desplazamiento Horizontal
3. Descascaramiento
4. Fisuración
5. Escalonamiento

El papel de los otros factores como el espesor de las juntas, las manchas, etc., todavía no están definidos de manera suficiente para garantizar su inclusión en un sistema de administración de pavimentos. Al mismo tiempo, no se puede decir que dichos factores son inconsecuentes.

Con referencia a la Figura 1, se propone que se defina un índice de condición del pavimento mediante los siguientes pasos:

1. Multiplicar el deterioro existente (severidad), S, por el peso (valor relativo o importancia), W, y el área (extensión), E, del desgaste.
2. Divídalo por el valor del límite (el valor al cual el mantenimiento se vuelve deseable).
3. Repita para todos los tipos de deterioro y calcule de ahí un resultado del puntaje (RS) como:

$$RS = \frac{S \times W \times E}{100} \qquad (1)$$

Donde:

S: Severidad (unidad de deterioro (mm) para escalonamiento y ahuellamiento, y (%) para fisuración).
W: Peso (valor relativo o importancia).
E: Extensión (%).
T: Valores de condición final (límites).

Sume los resultados del puntaje para todas las formas de deterioro, para llegar a un resultado definitivo, TRS (resultado de puntaje total). El índice de condición del pavimento puede ser calculado utilizando la siguiente ecuación:

$$PCI = 100 - TRS \qquad (2)$$

Valores altos de PCI representan una alta calidad del pavimento con una alta calidad del servicio.

Para implementar esta aproximación se requiere que la evaluación de los pesos apropiados, W, represente la importancia relativa de los diferentes tipos de deterioro. En la actualidad, las valoraciones subjetivas de los datos tienden a colocar el desgaste estructural (ahuellamiento) adelante del deterioro de la superficie (fisuración), en términos de importancia, pero se requiere un estudio más profundo para definir los valores de W.

Los valores apropiados de la condición final, T, también se deben escoger. Faltando investigaciones posteriores, los valores que se dan en la Tabla 8 son propuestos tentativamente.

Se trabaja para evaluar la importancia de los valores de peso, W, y para verificar los valores de condición

final, T, que se dan en la Tabla 8. Solamente cuando este estudio esté completo, será posible proceder a los pasos a seguir en la secuencia propuesta en la Figura 1. Un problema particular será definir el concepto de la vida útil del pavimento para el pavimento de adoquines de concreto. A este respecto se debe notar que existen muchos ejemplos de pavimento de adoquines de concreto en el hemisferio sur que han estado en servicio por períodos de 30 años o más sin desgaste significativo o mantenimiento. Esto significa que las nociones convencionales de la vida del pavimento, desarrollados para pavimentos de asfalto no aplican para el pavimento de adoquines de concreto. Así como tampoco los conceptos de vida del pavimento desarrollados en Holanda [3], se cumplen necesariamente en cualquier otro lugar, Por esta razón, se necesita incrementar la atención y dirigirla a evaluar pavimentos de adoquines de concreto, con largos historiales de servicio.

7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

El trabajo culminado a la fecha acerca de los estudios piloto de las condiciones de servicio de los pavimentos de adoquines de concreto en Australia indican que :

1. El pavimento de adoquines de concreto muestra su deterioro en daños estructurales, como ahuellamiento y desplazamiento, y también una variedad de defectos superficiales, como fisuración, descascaramiento y escalonamiento.
2. No parece haber correlaciones fuertes o útiles entre los diferentes mecanismos de ceterioro.
3. El ahuellamiento aparece como el mecanismo de deterioro dominante.
4. Los valores límites tentativos, tanto del desgaste estructural como superficial, pueden ser formulados en la actualidad pero se requiere que sean verificados.
5. Es factible calificar los pavimentos en términos de un índice de condición del pavimento - PCI. Sin embargo, se requiere de mayor estudio antes de que el PCI pueda ser utilizado como una herramienta de rutina para el pavimento de adoquines de concreto.
6. Los conceptos de vida útil requieren de un análisis posterior para el pavimento de adoquines de concreto.

Se continua trabajando en Australia en todas las áreas anteriores. Se han dictaminado las bases para un sistema de administración de pavimentos para las condiciones australianas. Se continua con la investigación de tal manera que se pueda formular este sistema de administración de pavimentos en detalle.