OVERLAYING OF THE PAVEMENT OF THE CONTAINER HANDLING FACILITY AT THE PORT OF CARTAGENA DE INDIAS WITH A SOIL-CEMENT LAYER AND CONCRETE PAVING BLOCKS [1] [2]

Luis F. VESGA
Engineering Consultant
INGEOCIM LTDA.
Santafe de Bogotá, Colombia

Angel NUÑEZ
Engineering Consultant
INGEOCIM LTDA.
Santafe de Bogotá, Colombia

1. INTRODUCTION

The Container Port Terminal is located in Cartagena de Indias, Colombia, and is under the administration of The Regional Port Society of Cartagena – SPRC, who received the port at the end of 1993 by a concession agreement with the Colombian Government. The SPRC has been developing a great civil works plan, which has had a very fast process. The work done has converted the Port of Cartagena in the best of the country for containers, and allows SPRC to handle the greatest number of TEUs per year in Colombia.

The widening and overlay of the container storage yard was included in the investment plan. The initial pavement was almost all concrete pavement. The rigid pavement must be reinforced to bear the loads transmitted by the new equipment in the port: Front End Loaders - FELs and Reach Stackers - RS. They have been damaging the old concrete pavement because it was not designed for the new loads applied.

The total area of the port is 200 000 m^2. The project was divided into 6 zones for the overlaying procedure (Figure 1).

The first overlaying contract of 20 000 m^2 started in June 1997 and finished in April 1998. The design consists on overlying with a cement treated base and concrete block paving for FEL and truck ways and for container stacking, concrete beams for Rubber Tired Gantries – RTG operation and gravel beds for container stacking.

In the first zone there are two types of pavement for the container stacking areas: concrete paving blocks and gravel beds. The main objective of the two types of paving was to test for a time the operation conditions with one and another and, depending on the results for each one, a final decision will be adopted. If the gravel beds function adequately, they will be adopted for the rest of the project, mainly because it's lower cost.

The pavement overlay designer was Hernando Rueda Pérez and Associates – HRP as consulting firm and the contractor for the construction of the first zone was Proyectos S.A. The concrete paving blocks were made by Agrecon S.A. The supervising of the works was in charge of Ingeocim Ltda. (consultants).

2. DESIGN

HRP concluded the final report and sent it to SPRC in February 1997 [3]. The design was done based on existing information of other studies developed by SPRC and also based on a new information obtained by HRP.

For the design the British Port Association Manual [1] was adopted, because the last edition of the manual [2] takes into consideration only new pavements.

Additionally other criteria were taken into account, like the ones included by the UNCTAD [4] and the Spanish Ministry of Public Works, Transportation and Environment [5].

2.1 PAVEMENT INITIAL CONDITION

The existing pavement was constructed by Frederick Snare firm [2] and consists on a rigid concrete pavement with 220 mm to 250 mm depth, a "caracolejo" course of 1,5 to 2,0 m depth, with some degree of compaction near the surface and looser with depth. This layer is a hydraulically fill. Underlying the "caracolejo" there are fine sand layers with different thicknesses.

The "caracolejo" is a dredging product of coral zones which have died because Cartagena Bay contamination. Recent studies [7, 8] demonstrate that the material has a very high internal friction angle (38 ° to 40 °) in the loosest state; the material has 60 °degrees or more if compacted.

The strength of the existing pavement concrete was

---

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 a translation of the original paper made by the authors.

evaluated by uniaxial compression tests on concrete core samples, ultrasound and pundit. On the pavement soil layers the testing consisted in: field CBR tests, plate bearing tests, standard penetration tests - SPT and soil classification tests.

At some zones of the Terminal there have been former pavement reparations by means of demolition of fractured slabs, the excavation of the existing base course and it's replacement with compacted "zahorra" material; over the base concrete paving blocks 120 mm thick were installed. The "zahorra" is a coral origin material composed of gravel, sand and clay; this soil has high plasticity in general. The experience with this type of reparation that was done before the design and construction of the project subject of this paper was completely adverse: the pavement collapsed with FEL operation.

In other zone, concrete block paving was built for the 2 000 m^2 widening of the container stacking are and the base course of this area is the "zahorra" material too; this zone had failure problems like the area mentioned above and the pavement will be replaced. The failure was caused by base resistance deficiency but not of the concrete paving blocks.

There are various cracking intensities in the existing concrete slabs in the port, but there are zones with no cracks and which were constructed 50 or more years ago. The longitudinal and transverse grading varies from one site to another: in some places the largest grades reach 5 % and the level differences reach 1,5 m. These irregularities affect the container behavior as well as the equipment operation, mainly the RTGs; one of the objectives of the overlay design was to have better grades.

The existing rigid pavement was adopted by the designer with the next equivalent thickness of lean concrete (Table 1):

1. The conversion and condition factors were stated in accordance with the BPA [2].
2. In the zones of the port where there is not rigid pavement, a CBR < 5 % subgrade was adopted.

2.2 LOADS AND LOADS REPETITION EVALUATION

For the design the following loads and load repetitions for the FEL operation were adopted (Table 2):

1. To take into account the container stacking loads in 4 lifts, the BPA [1] procedure was adopted, which recommends 853,4 kN, with a contact stress of 7,27 N/mm^2.

2.3 OVERLAY DESIGN WITH CONCRETE PAVING BLOCKS

Figure 2 shows the alternatives contemplated for the loads and loads repetition criteria mentioned above.

The general design criteria correspond with concrete block paving over a soil-cement course with a 12,4 MPa compressive strength overlaying the existing concrete slabs. The blocks have a 120 mm thickness, 100 mm x 200 mm in plan, and a 5,5 MPa average flexural strength, laid over a sand layer 30 mm thick deep.

The thickness of the blocks is as recommended by ROM 94 [5]. The designer explained that, although BPA says that less thickness could be employed, he defined a larger one to take in consideration that may be there will be in the future heavier equipment or with more damaging characteristics so that they could generate high impact twist.

The selection of the overlay reinforcement was due mainly because of cost criteria. Although the existing concrete surface is cracked to some degree, it functions adequately as base course for paving blocks. The paving blocks have the advantage that they do not have a continuous surface so they do not reflect the cracks beneath. The alternative of demolition of the old existing concrete pavement, indurate by aging (50 years or more), to build a new pavement implies higher costs.

The final overlay level was as close as possible to the existing pavement surface in order to have lower costs but also to obtain the grades needed for RTG operation. The cement treated base must be of minimum thickness but must comply with the BPA design requirements. The soil-cement design minimum thickness was 8° mm but it resulted on average 200 mm.

On some places there was not enough depth for the minimal soil-cement course of 80 mm thick. On those places, the soil-cement course design was changed by 29 MPa compressive strength concrete.

In sectors with high cracking, in which they do not comply with BPA condition adopted in the design, it was recommended to demolish the existing concrete slabs and to build a soil-cement base 550 mm deep and 12,4 MPa compressive strength and then the concrete paving blocks.

As was mentioned above, in some sectors for container stacking gravel beds were adopted because of its low cost. They beds are 150 mm thick, equivalent to the depth of the paving blocks plus the sand. If the client would like to change in the future the gravel beds for block paving, this will be an easy and fast operation.

3. CONSTRUCTION ASPECTS

The construction of the first stage of the project was developed in accordance with the specifications adopted in the design. The quality control was made in accordance with the Colombian Technical Standards - NTC (published by the Colombian Institute of Technical Standards – ICONTEC), the publications of the Colombian Institute of Cement Producers - ICPC, and the American Society for Testing Materials (ASTM).

Testing comprised: flexural tests to the PALVING blocks, in situ density tests, compacting tests, com-

pression tests, gradation tests to the soil-cement, and gradation test to laying and jointing sands. Two plate bearing tests on the soil-cement course and over the finished paving were made.

In general the field construction conditions were the ones anticipated by the design but some design changes were adopted to have better behavior and easier construction.

As was mentioned above, in some sectors a different surface appearance was to be obtained, because of the design with concrete overlaying instead of block paving because there was not enough depth for the paving blocks 120 mm thick. In those zones the existing rigid pavement did not have cracks and, therefore, instead of the concrete, 80 mm hick paving blocks were installed. After 8 months of operation in this zone, there is good behavior and no differences between 120 mm and 80 mm paving blocks.

In other sectors there was not enough depth for the 80 mm thick paving blocks, so it was necessary to do the existing concrete demolition, the construction of a new concrete slabs at greater depth and the installation of 80 mm tick paving blocks.

All the changes adopted during the construction of the project were in accordance with BPA manuals.

Two concrete plant firms supplied the soil-cement material. In general the quality of the material was as needed, but both firms had some problems with the resistance of the material. The lowest resistances were 25 % to 30 % under the required one.

The construction had a quick development because the area was needed urgently for container stacking. To avoid the demolition of the low resistant soil-cement already installed, it was adopted to leave the material and to obtain a special guarantee document from the supplier firms. In case of any problem in the pavement related to the soil-cement resistance they will be in charge of the reparation costs involved.

At some sectors there was the need for the demolition of the existing rigid pavement and its replacement for new concrete because its cracking was intense. These critical sectors had lower thickness than the one anticipated in the design (140 mm vs 220 mm); the demolition then was used to build the minimal thickness of concrete base as considered in the design.

Due to the high cost of the imported sealers, the pavement was left unsealed, although it was considered in the design to reduce the ingress of water into the bedding layer. Some trial areas of sealed pavement are being evaluated for future decisions.

4. CONCLUSIONS

1. The design of the reinforcement of the terminal pavement included particular solutions, depending on the load types which will be transmitted: concrete paving blocks for FEL operation and truck transit, paving blocks or gravel beds for container stacking at four lifts and concrete beams for RTGs.
2. The construction procedure adopted permitted the early operation of the container area. This was favorable for SPRC, given the area limitations and the increasing demand by new clients of the port.
3. After eight months of operation of the first reinforced area, the concrete block paving behavior has been successful. Some fractured blocks have been detected because the gravel particles from the gravel beds stick to the bottom of some containers, and when they are lifted the gravel falls down to the block paving surface. When the equipment tires push the gravel particles the point load is too heavy and cracks the blocks. To solve the problem it was adopted to cover the gravel beds with a low cost net. This solution is better for project costs than the blocks. The gravel beds have had adequate behavior.
4. Taking in mind the successful behavior of the first stage of the project, the SPRC has decided to continue with the next step in a 20 000 m^2 construction area.

5. ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank to the following people, which gave his collaboration for the preparation of this paper. Cap. Alfonso Salas Trujillo, General Manager of SPRC; Cap. Juan Carlos Acosta, SPRC Engineering Director; Eng. Manuel Buendía from SPRC; Eng. Hernando Rueda Pérez, Manager of the designer firm; Eng. Iván García Romero, Manager of Proyectos S.A., the contractor. To Eng. Germán G. Madrid for his invaluable help and his invitation to the authors for participate in Pave Colombia'98. And to Vivi for being quiet and encouraging.

PAVEMENT STRUCTURE *ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO*	THICKNESS *ESPESOR* (mm)	CONVERSION FACTOR *FACTOR DE CONVERSIÓN*	CONDITION FACTOR *FACTOR DE CONDICIÓN*		EQUIVALENT THICKNESS OF LEAN CONCRETE (1.800 psi) *ESPESOR EQUIVALENTE DE CONCRETO POBRE (1 800 psi)* (mm)
		CF1	CF1	CF2	
Rigid concrete ***Concreto***	220	1,7	0,7	0,9	236
Base of caracolejo CBR > 10 ***Base de caracolejo CBR > 10***	600	0,3	1,0	1,0	180
Subbase of caracolejo CBR ≤ 5 ***Subbase de caracolejo CBR ≤ 5***	600	0,2	1,0	1,0	130
TOTAL / TOTAL					546

Table 1. Structure of the existing pavement.
Tabla 1. *Estructura del pavimento existente.*

NUMBER OF TIRES ***NÚMERO DE LLANTAS***	**4 front, 2 rear** ***4 delanteras, 2 traseras***
Maximum operation load in the front axle ***Carga máxima en operación en el eje delantero***	970 kN
Load in the rear axle ***Carga en el eje trasero***	70 kN
Proportion of 20 ft and 40 ft 40/60 containers ***Combinación de contenedores de 20 y 40 pies***	40/60
Critical container weight ***Carga crítica de contenedor***	205,8 kN
Wheel proximity factor ***Factor de proximidad de llanta***	1,85
Equivalent load per wheel ***Carga única equivalente por rueda***	474 kN
Design life ***Período de diseño***	20 years *20 años*
Load repetitions in 20 years ***Número de repeticiones de carga durante 20 años***	3 000 000

Table 2. Evaluation of loads and repetitions for the new pavement.
Tabla 2. *Evaluación de cargas y repeticiones para el nuevo pavimento.*

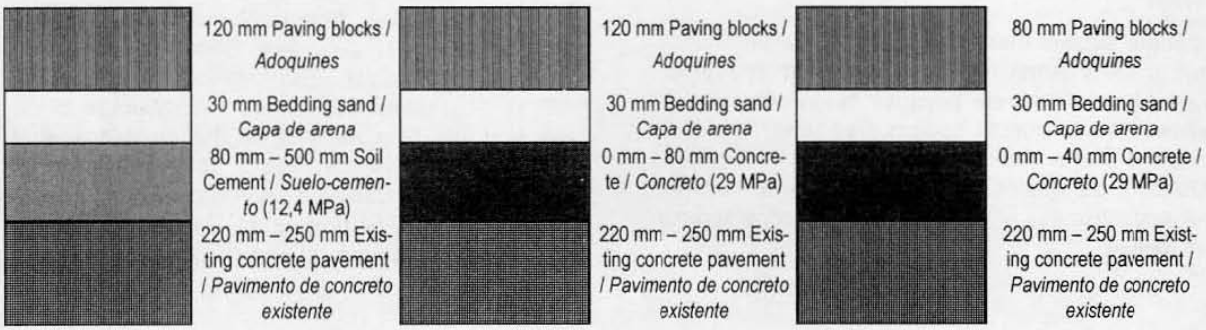

Figure 2. Schemes with the alternative structural designs for the strengthening of the pavement.
Figura 2. *Esquemas con el diseño de las alternativas de refuerzo del pavimento existente.*

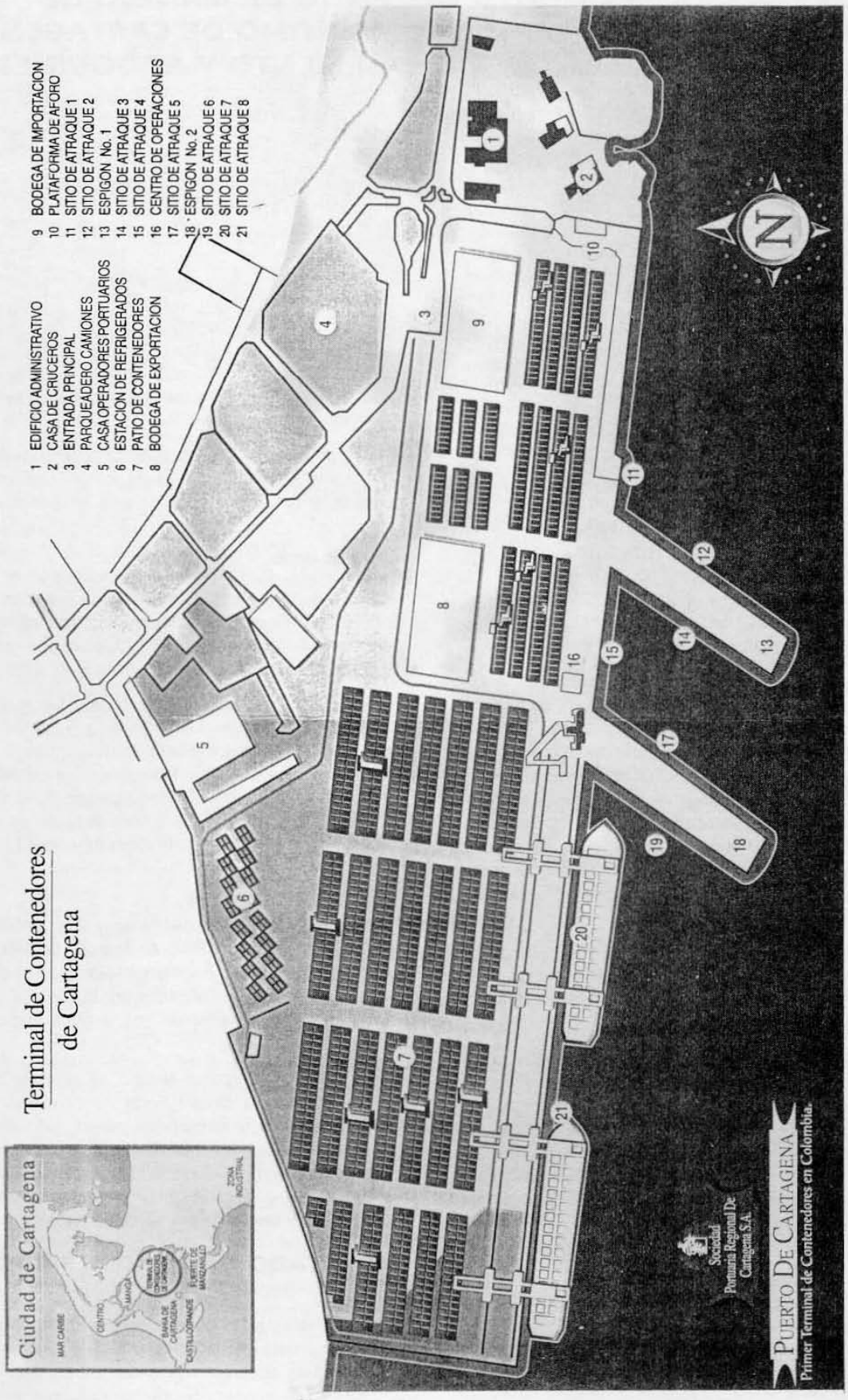

Figure 1. Scheme of Cartagenas´s container terminal.
Figura 1. *Terminal de contenedores de Cartagena.*

REFUERZO DEL PAVIMENTO DEL PATIO DE MANEJO DE CONTENEDORES DEL TERMINAL MARÍTIMO DE CARTAGENA CON UNA SOBRECAPA DE SUELO-CEMENTO Y ADOQUINES DE CONCRETO [3] [4]

Luis F. VESGA
Ingeniero de Proyectos, Socio
INGEOCIM LTDA.
Santafe de Bogotá, Colombia

Angel NUÑEZ
Ingeniero de Proyectos
INGEOCIM LTDA.
Santafe de Bogotá, Colombia

1. INTRODUCCIÓN

Dentro del proyecto de modernización del terminal Marítimo de Manga, localizado en la Ciudad de Cartagena, Colombia, la Sociedad Portuaria Regional de Cartagena S.A. - SPRC, empresa que recibió el puerto en concesión a finales de 1993, ha desarrollado un ambicioso plan de obras civiles el cual viene ejecutando de forma vertiginosa y que a su vez ha convertido el Terminal en el más moderno del país para el manejo de contenedores, y le permite manejar el mayor volumen anual de TEU's.

En particular, el plan de inversión contempla entre otras obras, el refuerzo y ampliación del patio para contenedores, el cual en su gran mayoría tiene un pavimento rígido de concreto, que se debe reforzar para que pueda soportar las cargas que transmiten los nuevos equipos adquiridos para la operación; dentro de ellos se destacan los tipo Front End Loaders - FELs y los Reach Stackers - RS, los cuales vienen causando un deterioro acelerado del pavimento existente, ya que este no fue diseñado para soportar tales cargas.

El patio del puerto tiene un área total de 200 000 m^2, el cual fue subdividido en 6 zonas para desarrollar el proyecto de refuerzo del pavimento en igual número de etapas (Figura 1).

La primera etapa se inició en junio de 1997 y se terminó en abril de 1998, y comprendió un área de 20 000 m^2. El diseño del refuerzo consistió en la construcción de una sobrecapa de suelo-cemento, sobre la cual se construyeron vías de pavimento de adoquines de concreto en las zonas de tránsito de los FELs y de los camiones, y en las zonas de almacenamiento de contenedores; vigas de concreto para el tránsito de equipos Ruber Tired Gantry - RTG y lechos de grava para el almacenamiento de contenedores.

En la primera etapa de construcción se emplearon dos sistemas para las zonas de almacenamiento de contenedores; en una zona se emplearon lechos de grava y en la otra pavimento de adoquines de concreto. El propósito de esta combinación fue probar, por un tiempo, las condiciones de operación de cada uno de ellos para tomar una decisión final posterior. Si las zonas de grava funcionan de forma adecuada, estas regirán en el resto del proyecto, por razones de costos principalmente.

El diseño del refuerzo del pavimento fue realizado por la firma Hernando Rueda Pérez y Asc. y la construcción de la primera etapa estuvo a cargo de la firma Proyectos S.A. La fabricación de los adoquines estuvo a cargo de la firma Agrecón S.A., de Barranquilla. La supervisión de los trabajos de construcción estuvo a cargo de la firma Ingeocim Ltda.

2. DISEÑO

La firma Hernando Rueda Pérez y Asc. entregó el informe final [3] a la SPRC en febrero de 1997. El diseño se realizó con base en información que existía en otros estudios realizados por la SPRC y con la nueva información obtenida por la firma mencionada.

El diseño del refuerzo se realizó de acuerdo con la metodología de la British Ports Association - BPA [1], ya que la última edición del método [2] solo contempla pavimentos nuevos. Además, se tuvieron en cuenta otros criterios como los incluidos por la UNCTAD [4] y el Ministerio de obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente de España [5].

2.1 ESTADO INICIAL DEL PAVIMENTO

El patio existente fue construido por la firma Fredric Snare [2] y está conformado principalmente por un pavimento de concreto rígido con un espesor entre 220 mm y 250 mm, soportado por una capa de caracolejo de 1,50 m a 2,0 m de espesor, con algún grado de compactación en la parte superior y en estado

[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 la versión original de esta ponencia.

suelto en la profundidad. Esta capa corresponde a un relleno hidráulico. Debajo del caracolejo existen estratos de espesor variable, de arena fina. El caracolejo es un material producto del dragado hidráulico de bancos de coral que han muerto por causa de la contaminación en la Bahía de Cartagena. Estudios realizados recientemente [7, 8] demuestran que este material presenta un ángulo de fricción interna muy alto (38 ° a 40 °) a pesar de que se encuentre en estado muy suelto; compactado puede llegar a los 60 °.

La resistencia del concreto se evaluó por medio de ensayos uniaxiales de resistencia a la compresión, sobre núcleos extraídos, y por medio de pruebas de ultrasonido y pundit. Las capas inferiores se investigaron por medio de ensayos de CBR de campo, pruebas de carga con placa, ensayos de Standard Penetration Test - SPT y ensayos de clasificación de suelos.

En algunas zonas del patio se realizaron reparaciones anteriores del pavimento mediante la demolición de las losas muy deterioradas, excavación de la base de caracolejo, reemplazo de ésta por un relleno compactado con un material denominado en la zona "zahorra" y luego colocación de adoquines de concreto. La zahorra es de origen coralino y está conformada por grava areno-arcillosa y presenta, por lo general, alta plasticidad. La experiencia con estas reparaciones que se realizaron con anterioridad al diseño y construcción del proyecto que se menciona en este artículo, fue por completo adversa; el pavimento sufrió colapso con la operación de los equipos tipo FEL.

En otra zona, donde se construyó un pavimento de adoquines para la ampliación del patio de contenedores en un área de unos 2 000 m^2, tampoco ha tenido éxito; existen varias zonas de falla y el pavimento será reemplazado próximamente. La causa de la falla de los pavimentos mencionados anteriormente fue la fatiga de la capa de base.

En las placas de concreto que cubren la mayoría del patio, existen diversos grados de agrietamiento, aunque en algunas áreas las losas están en perfecto estado a pesar que fueron construidas hace más de 50 años. Las pendientes, tanto longitudinales como transversales, son muy variables; en algunos sitios las máximas pueden alcanzar 5 % y las diferencias de altura en el patio son de hasta 1,5 m. Estas irregularidades afectan el comportamiento de los contenedores y la operación de los equipos, en especial de los RTG, y por lo tanto uno de los propósitos del diseño era mejorar las pendientes superficiales del patio.

La estructura del pavimento rígido existente fue adoptada por el diseñador de la siguiente forma (Tabla 1):

1. Los factores de conversión y de condición corresponden con el método de diseño de la BPA [2].
2. En las zonas donde no existe pavimento rígido, para el diseño del nuevo pavimento se adoptó una subrasante con un CBR < 5 %.

2.2 EVALUACIÓN DE CARGAS Y REPETICIONES

Para el diseño del pavimento se calcularon las siguientes cargas y repeticiones para el paso de FELs, los cuales tienen las siguientes características (Tabla 2):

1. Para tener en cuenta el efecto de carga de contenedores apilados en bloques de 4 alturas se empleó el recomendado por BPA [1] que es de 853,4 kN, con un esfuerzo de contacto de 7,27 N/mm^2.

2.3 DISEÑO DEL PAVIMENTO EN LAS ZONAS ADOQUINADAS

De acuerdo con los criterios de cargas y repeticiones de diseño establecidos anteriormente, y con las características del pavimento existente, el diseño del pavimento contempló las alternativas presentadas en la Figura 2.

El criterio general correspondió con el de colocar una capa de suelo-cemento con una resistencia a la compresión simple de 12,4 MPa, sobre el pavimento de concreto existente, y sobre ella adoquines de concreto de 120 mm de espesor y 100 mm x 200 mm de base, con una resistencia a la flexión de 5,5 MPa, evaluados según la NTC 2 017 [9], apoyados sobre una capa de arena de 30 mm de espesor.

El espesor definido de 120 mm para los adoquines es el que recomienda el documento ROM 94 [5]. El diseñador manifestó que aunque la BPA dice que podría emplearse una menor altura, definió un mayor espesor para tener en consideración la posibilidad de que eventualmente se empleen equipos más pesados o con características más dañinas que puedan generar torsiones de alto impacto.

La selección de la alternativa de refuerzo del pavimento existente se debió principalmente a costos. Aunque la superficie de concreto existente está agrietada en algún grado, es muy buena como capa de base para el soporte de los adoquines. Éstos tienen la gran ventaja de no conformar una capa continua y por lo tanto no reflejan, en la superficie, las grietas de la capa de base. Además, la labor de demolición de pavimento muy endurecido por la edad (50 años o más) y el posterior retiro de sobrantes implicaba sobrecostos y mayor tiempo de construcción.

Los niveles del pavimento terminado se establecieron para cumplir con el criterio de pendientes máximas para operación de las grúas RTG, pero de tal forma que el espesor de la capa de suelo-cemento fuera el mínimo posible, para que los costos también lo fueran. Para cumplir con la exigencia del diseño, esta capa debía tener como mínimo 80 mm de espesor; en promedio resultó de 200 mm.

En algunos sitios (áreas pequeñas) no había espa-

cio suficiente para la capa mínima de suelo-cemento de 80 mm. En estos sitios se proyectó reemplazar el suelo-cemento por concreto de 29 MPa de resistencia a la compresión simple.

En otros el espacio, entre el nivel actual y el final para el refuerzo no era suficiente, y se proyectó construir una capa de concreto de 29 MPa de resistencia a la compresión en lugar del pavimento con adoquines de concreto.

En los sitios en los cuales el pavimento existente de concreto esté muy agrietado, de tal forma que los factores de condición de la BPA adoptados en el diseño no se cumplan, el diseñador recomendó demoler el pavimento existente y remplazarlo por una capa de base de suelo-cemento de 550 mm de espesor.

Como se mencionó anteriormente, en algunas zonas para almacenamiento de contenedores se instalaron lechos de grava dado su bajo costo. Estos se diseñaron con un espesor de 150 mm, lo cual coincide con el espesor de los adoquines y la capa de arena. En caso que el cliente, en un futuro, decida convertir los lechos ya construidos a zonas adoquinadas o viceversa, el remplazo será muy sencillo y rápido.

3. ASPECTOS DE CONSTRUCCIÓN

Durante la construcción se siguió el procedimiento recomendado por el diseñador y se realizó el control de calidad de acuerdo con las Normas Técnicas Colombianas - NTC (publicadas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas – ICONTEC), las publicaciones del Instituto Colombiano de Productores de Cemento - ICPC y de la American Society for Testing Materials (ASTM).

Sobre los adoquines se realizaron pruebas de resistencia a la flexotracción [9], sobre el suelo-cemento se realizaron ensayos de densidad en el terreno, pruebas de resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días, ensayos de granulometría para los agregados del suelo-cemento y para la arena de la capa de arena y del sello de arena del pavimento de adoquines de concreto. A su vez se realizaron ensayos de carga con placa tanto sobre la capa de suelo-cemento como sobre el pavimento terminado.

En general las condiciones en el campo fueron las previstas en el diseño aunque se realizaron algunas variaciones del diseño para adaptarlo a dichas condiciones.

En las zonas en las que estaba previsto, en el diseño, colocar una capa de concreto remplazando la rodadura de adoquines de concreto porque el espacio disponible en altura no era suficiente, se hubiera tenido una apariencia estética diferente a la del resto del patio. Aprovechando que en esa zona las losas de concreto existentes estaban en muy buen estado, simplemente se instalaron adoquines de 80 mm, siguiendo la recomendación de la BPA. Después de 8 meses de operación de esta zona del patio, no se perciben diferencias en el comportamiento de la zona con adoquines de 80 mm a la zona con adoquines de 120 mm.

En algunas zonas, incluso, no hubo espacio ni para el adoquín de 80 mm, lo cual motivó la demolición del pavimento existente, la construcción de una placa de concreto más baja y la colocación posterior de adoquines de 80 mm.

Estos cambios se realizaron pero con la comprobación del diseño por el método de la BPA.

El suelo-cemento fue suministrado por dos firmas con planta de mezcla de concretos. Las dos tuvieron algunos problemas con la resistencia, obtenida mediante las pruebas de control de calidad. Se registraron resistencias de hasta un 25 % a 30 % por debajo de la especificación mínima de 12,4 MPa de resistencia a la compresión. Debido al ritmo que llevaban los trabajos y a la necesidad urgente de disponibilidad de espacio para el almacenamiento de contenedores, las zonas se entregaban al cliente lo más pronto posible después de realizado el refuerzo.

Para evitar demoras en dicha entrega, ya que en caso de rechazar los materiales se debía levantar el pavimento de adoquines de concreto ya instalado y demoler la capa de suelo-cemento, se decidió dejar ese material y obtener garantía de los subcontratistas mediante pólizas de calidad, de que en caso de presentarse algún problema en el comportamiento del pavimento de adoquines ellos se encargarían de la reparación total a plena satisfacción del cliente.

En algunos sectores se decidió demoler el pavimento existente y remplazarlo por concreto nuevo porque su grado de fracturación era alto. Esas zonas coincidieron en que el espesor del concreto de las losas era muy inferior al que era previsto en el diseño original (140 mm reales contra los 220 mm diseñados). Esta demolición se aprovechó para construir la capa de concreto con el espesor mínimo contemplado en el diseño.

Dado el alto costo que representaba la importación de un sellante, puesto en consideración principalmente para reducir la infiltración de agua dentro de la capa de arena, se tomó la decisión de no sellar el pavimento y adelantar algunos ensayos en tramos alternos con y sin sellante.

4. CONCLUSIONES

1. El diseño adoptado para el refuerzo de los patios contempla soluciones diferentes dependiendo del tipo de cargas que serán transmitidas: pavimento de adoquines de concreto para el tránsito y operación de equipos FEL y de camiones, pavimento de adoquines de concreto o lechos de grava para almacenamiento de contenedores en 4 alturas, y vigas de concreto para grúas de patio RTG.
2. El procedimiento de construcción adoptado permitió la pronta operación del patio, lo cual fue favorable para la SPRC dada la limitación

de espacio dentro del puerto y la creciente demanda de almacenamiento.

3. Después de 8 meses de operación de los primeros tramos construidos, el comportamiento del pavimento de adoquines ha sido satisfactorio. Sólo se han detectado algunos adoquines fracturados porque partículas de grava de los lechos se adhieren a la base de los contenedores, y al moverlos caen sobre los adoquines. Cuando pasan los camiones o los equipos FEL y pisan las piedras, la carga puntual transmitida es muy alta y fractura los adoquines. Para resolver este problema se tomó la decisión de cubrir la grava con una malla, lo cual todavía es una alternativa muy económica frente a la de emplear adoquines en esa zona. Por lo demás los lechos de grava también han tenido un comportamiento satisfactorio.
4. Teniendo en cuenta los favorables resultados que se han obtenido, la SPRC ha decidido continuar la siguiente etapa de construcción de otros 20 000 m^2.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a las siguientes personas que de una u otra forma colaboraron para la ejecución de este trabajo. El Cap. Alfonso Salas Trujillo, Gerente General de la SPRC; Cap. Ing. Juan Carlos Acosta, Jefe del Departamento de Ingeniería y Proyectos de la SPRC; Ing. Manuel Buendía H, Ingeniero de Proyectos de la SPRC; Ing. Hernando Rueda Pérez, Gerente de la firma encargada del diseño; Ing. Iván García Romero, Gerente de la firma Proyectos S.A. firma que realizó con éxito la construcción del proyecto. Al Ing. Germán G. Madrid por sus valiosos aportes y por la invitación a participar en Pave Colombia'98. A Vivi por su paciencia y por su voz de aliento.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. KNAPTON, John and MELETIOU, Marios. The structural design of heavy duty pavements for ports and other industries. British Ports Association. -- Leicester : Interpave, 1996. -- 92p.
2. BRITISH PORTS FEDERATION. The structural design of heavy duty pavements for ports and other industries. -- London : BPF, 1988. -- P.v.
3. HERNANDO RUEDA PEREZ Y ASOCIADOS. Proyecto para obras de mantenimiento, drenajes y pavimentación de los patios con operación de grúas portico de de patio (RIG) y cargadores frontales (FEL). -- Cartagena de Indias, 1997. -- P.v.
4. MELETIOU, Marios and KNAPTON, John. Container Terminal pavement management. -- Geneva : United Nations, 1987, 1990. -- P.v. (Unctad Monograph on Port Management, N.5).
5. ESPAÑA. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente. Recomendaciones sobre obras marítimas españolas. -- Madrid : El Ministerio, 1994. -- P.v. (ROM 4, 1-94).
6. RUEDA, Hernando y VESGA, Luis F. Experiencias en el diseño y construcción de dos puertos en Cartagene de Indias. -- En : JORNADAS DE INGENIERIA DE LA COSTA (6:1996:Barranquilla). Memorias. -- Barranquilla : Sociedad de Ingenieros del Atlántico, 1996. -- P.v.
7. VESGA, Luis Fernando y RUEDA, Hernando. Aspectos geotécnicos en la construcción de puertos en Cartagena de Indias. -- En : JORNADAS GEOTECNICAS DE LA INGENIERIA COLOMBIANA (9:1997:Santafe de Bogotá). Memorias. -- Santafe de Bogotá : Sociedad Colombiana de Ingenieros, 1997. -- P.v.
8. INGEOCIM LTDA y UNIVERSIDAD DE LOS ANDES. Caracterización geotécnica del caracolejo. -- Santafe de Bogotá : Sociedad Portuaria Regional de Cartagena, 1996. -- P.v.
9. INSTITUTO NACIONAL DE NORMAS TÉCNICA. Adoquines de concreto. -- Santafe de Bogotá : ICONTEC, 1983. – P.v. (NTC, 2017).