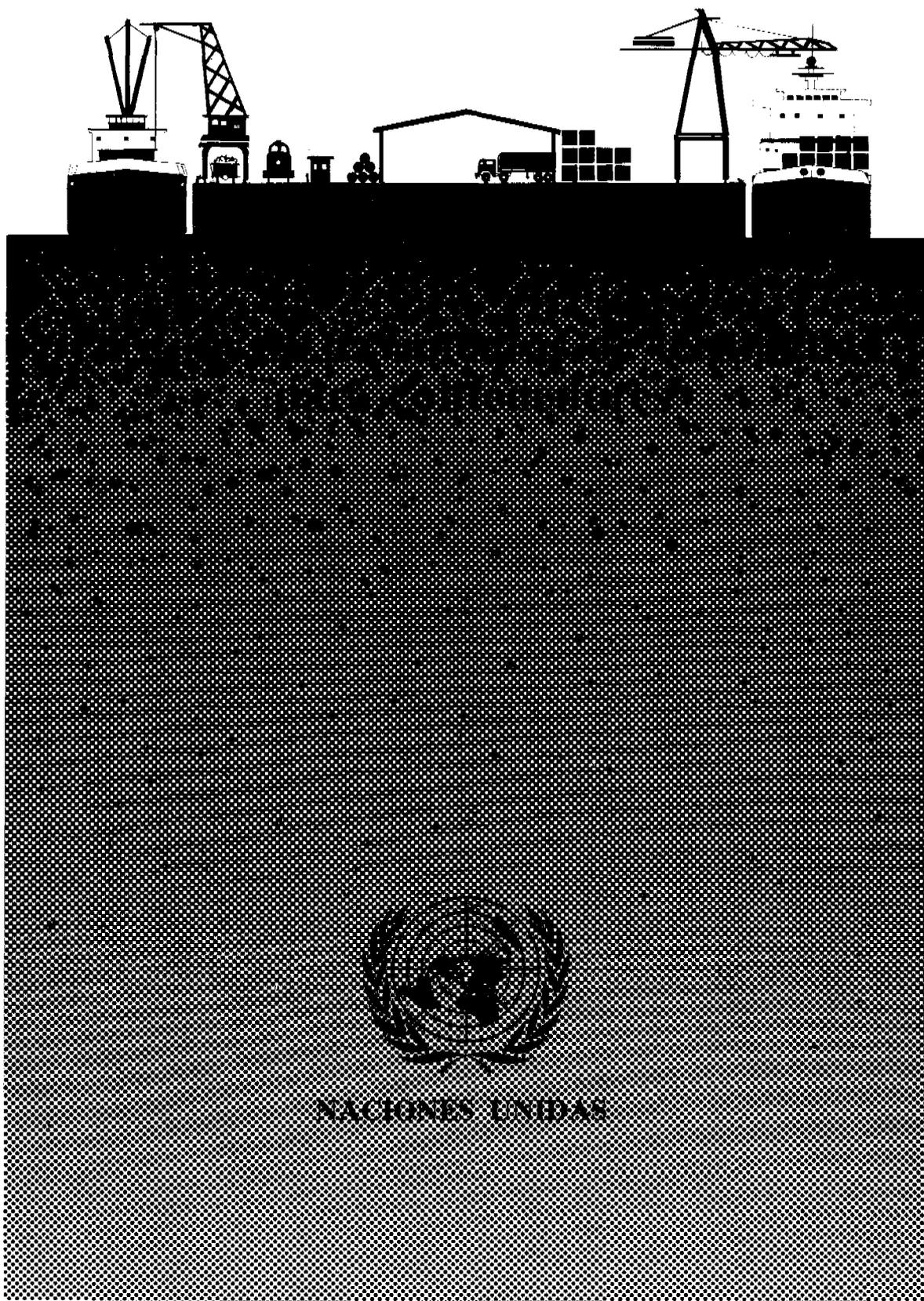


# UNCTAD MONOGRAFÍAS SOBRE GESTIÓN DE PUERTOS



**MONOGRAFÍAS  
DE LA UNCTAD  
SOBRE  
GESTIÓN DE PUERTOS**

*Serie de monografías preparadas por la UNCTAD en colaboración  
con la Asociación Internacional de Puertos (AIP)*

**Suplemento a la Monografía N.º 5**

**Gestión de pavimentos de terminales para contenedores**

*por*

*Marios Meletiou  
B.Sc.(Tech.), Honours, M.Sc., M.B.A.  
Jefe de la Sección de Ingeniería Civil  
Dirección de Puertos de Chipre*

*y*

*John Knapton  
B.Sc., Ph.D., C.Eng., MICE, MIHT, FFB  
Director de  
John Knapton Consulting Engineers Limited*



**NACIONES UNIDAS**  
Nueva York, 1990

## NOTA

Las opiniones expresadas en esta monografía son las del autor y no corresponden necesariamente a las de las Naciones Unidas. Las denominaciones empleadas y la forma en que aparecen presentados los datos no implican, de parte de la Secretaría de las Naciones Unidas, juicio alguno sobre la condición jurídica de países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, ni respecto de la delimitación de sus fronteras o límites.

\*  
\* \* \*

### Otras monografías de esta serie

- N.º 1 Paso del régimen de jornada diurna y horas extraordinarias al trabajo en dos turnos
- N.º 2 Planificación de la utilización de los terrenos en las zonas portuarias: aprovechamiento máximo de la infraestructura portuaria
- N.º 3 Medidas para el mantenimiento eficaz del equipo
- N.º 4 Planificación de operaciones en los puertos
- N.º 5 Gestión de pavimentos de terminales para contenedores
- N.º 6 Medición y evaluación del rendimiento y de la productividad de los puertos
- N.º 7 Medidas para la gestión eficaz de los tinglados

UNCTAD/SHIP/494(5)/Supp.1

## PRESENTACION DE LA SERIE

En los puertos de los países industrializados, los sistemas de explotación y el perfeccionamiento del personal se basan en conocimientos adquiridos por la experiencia, en la emulación de otras industrias y en la innovación, que tiene lugar con facilidad en los entornos industriales adelantados. En los países en desarrollo no se dispone generalmente de esos medios, y sólo se introducen mejoras en los puertos después de muchas deliberaciones y, con frecuencia, tras una serie de ensayos y errores. Se necesitan procedimientos para que los puertos de los países en desarrollo puedan adquirir unos conocimientos que se dan por descontado en los países que tienen una larga historia industrial o aprovechar la experiencia de los demás en lo que se refiere a los nuevos adelantos y al modo de adaptarse a ellos.

La capacitación formal es un aspecto de esta cuestión, y la UNCTAD ha dedicado esfuerzos considerables a preparar y realizar cursos y seminarios de capacitación en actividades portuarias para personal directivo de categoría superior, así como a elaborar material de capacitación que permita que instructores locales den cursos al personal directivo de categorías intermedias. Se consideró que otra aportación a ese respecto la constituiría la elaboración de documentos técnicos, redactados en forma clara y dedicados a los problemas corrientes de la gestión y la explotación de los puertos. Para que esos documentos capten la atención de los directivos portuarios de los países en desarrollo tendrán que estar destinados a ese público, y en la actualidad existen muy pocos textos de esa clase.

Tras la aprobación de esa propuesta por la Comisión del Transporte Marítimo de la UNCTAD en su resolución 35 (IX), la secretaria de la UNCTAD decidió solicitar la colaboración de la Asociación Internacional de Puertos, organización no gubernamental reconocida como entidad consultiva de la UNCTAD, a fin de preparar esos documentos técnicos. La presente serie de monografías de la UNCTAD sobre gestión de puertos es el resultado de esa colaboración. Se espera que la difusión de la información contenida en estas monografías contribuya a desarrollar los conocimientos administrativos de que depende en gran medida la eficiencia de los puertos de los países en desarrollo.

(Firmado):

A. BOUAYAD  
Director  
División del Transporte Marítimo  
UNCTAD

## PREFACIO

Cuando la UNCTAD decidió solicitar la colaboración de la Asociación Internacional de Puertos para preparar monografías sobre gestión de puertos, esa idea fue acogida con entusiasmo como un nuevo paso hacia el suministro de información a las administraciones portuarias de los países en desarrollo. La preparación de monografías por medio del Comité de Desarrollo Portuario Internacional de la AIP se ha basado en los recursos de los puertos de países industrializados miembros de la AIP y en el hecho de que los países desarrollados se mostraron dispuestos a registrar para beneficio de los demás la experiencia y las enseñanzas obtenidas hasta alcanzar sus actuales niveles de tecnología y gestión portuarias. Por otra parte, el personal directivo superior de los puertos de los países en desarrollo ha presentado una preciosa asistencia evaluando las monografías en curso de redacción.

Confío en que la serie de monografías de la UNCTAD resulte útil a las administraciones portuarias de los países en desarrollo, proporcionándoles indicadores en que podrán basar sus decisiones para introducir mejoras y progresos tecnológicos y utilizar lo mejor posible los recursos existentes.

La Asociación Internacional de Puertos espera seguir colaborando con la UNCTAD en la preparación de otros muchos documentos de la serie de monografías y confía en que esa serie llenará un vacío en la información de que disponen actualmente las administraciones portuarias.

(Firmado):

C. BERT KRUK  
Presidente del Comité de  
Desarrollo Portuario Internacional  
AIP

INDICE

<u>Capítulo</u>		<u>Párrafos</u>	<u>Página</u>
	RESUMEN .....	i - vii	vi
I.	INTRODUCCION .....	1 - 10	1
II.	NUEVOS MATERIALES Y METODOS DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE TERMINALES DE CONTENEDORES .....	11 - 47	4
	A. Introducción .....	11 - 12	4
	B. Novedades en materia de bloques de pavimentos	13 - 17	4
	C. Pavimentos de hormigón armado con fibras de acero .....	18 - 32	7
	1. Generalidades .....	18 - 19	7
	2. Fibras de acero con forma de gancho encoladas en haces .....	20 - 23	7
	3. Propiedades y ventajas de los pavimentos de hormigón armado con fibras de acero .	24 - 32	8
	D. Pavimento semirrígido flotante .....	33 - 41	15
	E. Pavimentos de hormigón compactado con rodillos .....	42 - 43	26
	F. Cuadro revisado de idoneidad de los pavimentos .....	44 - 47	27
III.	NUEVOS METODOS DE MANTENIMIENTO, REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE PAVIMENTOS .....	48 - 67	30
	A. Material para la reparación rápida de pavimentos .....	48 - 62	30
	B. Los geotextiles de nueva generación en las técnicas de recubrimiento .....	63 - 67	35
IV.	MANUAL REVISADO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS PORTUARIOS DE LA BPF .....	68 - 79	46
	A. Introducción .....	68	46
	B. Presentación revisada de los gráficos de diseño .....	69 - 70	46
	C. Cambios técnicos .....	71 - 79	46

RESUMEN

i) El presente Suplemento a la Monografía N° 5 tiene por objeto poner a los lectores al corriente de los últimos adelantos en lo que respecta a la pavimentación de terminales de contenedores, que habrán de tener una influencia positiva sobre la gestión de los pavimentos en los puertos, que era el tema de la monografía original.

ii) La nueva edición del Manual de la British Port Federation (BPF) The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and Other Industries ha tenido una influencia determinante en la preparación de este nuevo Suplemento. Esa publicación, que apareció a principios de 1989, tiene por objeto ofrecer a los especialistas en la pavimentación de puertos una metodología de diseño de utilidad comprobada, mientras que la función de la Monografía N° 5 y del presente suplemento es complementaria en el sentido de que presentan una visión global del problema de la pavimentación de los puertos desde todas las perspectivas necesarias para una gestión eficaz del pavimento, desde la selección a las fases de mantenimiento y mejora. En este Suplemento se estudian los nuevos materiales y métodos de construcción que se mencionan en la segunda edición del Manual de Pavimentación de la BPF, así como algunos otros materiales y métodos nuevos de construcción que se han probado últimamente o que se están probando en algunos puertos, y se consideran esos materiales y métodos desde el punto de vista exclusivo de la gestión de los pavimentos.

iii) Se ha reconocido en general que las dos publicaciones, es decir, el Manual The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and Other Industries y la Monografía N° 5, han tenido una función complementaria para ofrecer una visión clara del problema de la pavimentación de los puertos, y los autores estiman que este nuevo Suplemento mantiene esa orientación positiva. Marios Meletiou, principal autor de la Monografía N° 5 y de este Suplemento, ha colaborado estrechamente con el Dr. John Knapton en la preparación de ambas obras, y también ha colaborado estrechamente con el Dr. John Knapton en la preparación de la nueva edición actualizada del Manual de Pavimentación de la BPF.

iv) En todo momento los autores han considerado los progresos prácticos logrados en esta esfera, así como las nuevas concepciones teóricas y las modificaciones de la teoría existente.

v) En este Suplemento se efectúa, pues, un examen general de todos los progresos importantes en materia de gestión de pavimentos de puertos, a nivel tanto teórico como práctico. Se espera que pueda contribuir a poner de manifiesto la importancia de la pavimentación en el proceso de la gestión portuaria.

vi) Se señala a la atención de los lectores el material de capacitación del Banco Mundial y de la UNCTAD sobre Operating and Maintenance Features of Container Handling Systems, que comprende un vídeo de dos horas y un manual de unas 90 páginas preparado por Portrain UK Ltd. en 1987. El material, que sólo existe en inglés, puede adquirirse en la secretaría de la UNCTAD y ofrece información que puede ayudar a los gobiernos y a las administraciones portuarias a escoger el equipo idóneo para el desarrollo de las instalaciones de manipulación de contenedores. La secretaría de la UNCTAD también ha

preparado materiales de capacitación en los documentos titulados Directrices para la creación de una terminal de contenedores (IPP2) y Gestión de las Operaciones de una Terminal de Contenedores (Trainmar 02.6). La secretaria de la UNCTAD puede facilitar información sobre la utilización de esos materiales.

vii) Los autores quisieran expresar su agradecimiento a cuantos les han ayudado a preparar este Suplemento, y en particular a la publicación especializada Port Development International, que le ha prestado su apoyo a lo largo de todo el proceso.

## Capítulo I

### INTRODUCCION

1. Estos últimos años ha aumentado considerablemente la importancia de la pavimentación de las terminales de contenedores, debido sobre todo a que hay muchas situaciones en que el deterioro importante de los pavimentos plantea graves problemas. A los efectos de este Suplemento se considera no sólo el deterioro estructural de los pavimentos sino también las pérdidas financieras y problemas operacionales consiguientes.

2. Inevitablemente el deterioro de los pavimentos plantea un problema a los ingenieros de puertos, lo que les lleva a buscar nuevos métodos y materiales de construcción de pavimentos, así como a perfeccionar de los métodos de diseño, con lo que se dispone de una más amplia selección de tipos de pavimento así como de un diseño más exacto y realista. Este Suplemento, que analiza brevemente las ideas y acontecimientos más recientes en relación con el pavimento de las terminales de contenedores, trata de precisar la descripción presentada en la Monografía original de las opciones actualmente disponibles en materia de pavimentación.

3. En la Monografía N° 5 se describen los siguientes métodos y materiales de construcción.

Afirmados bituminosos y asfálticos

Hormigón preparado sobre el terreno

Losas de hormigón prefabricado

Bloques de hormigón para pavimentos

Lechos de grava.

4. Desde que se publicó la Monografía los autores han acumulado más experiencias en lo que se refiere a algunos de los métodos o materiales de construcción citados. Además han tenido conocimiento de otros nuevos sistemas que están empezando a utilizarse en el sector portuario. Teniendo en cuenta esa experiencia, a continuación se complementan las observaciones hechas en la Monografía original sobre los métodos y materiales de construcción y en el capítulo siguiente se examinan las principales novedades.

#### Afirmados bituminosos o asfálticos

5. En lo que se refiere a este tipo de pavimento la experiencia no ha aportado nada nuevo, sino que confirma lo que se decía al respecto en la Monografía original.

#### Hormigón preparado sobre el terreno

6. En gran parte puede decirse lo mismo que del afirmado bituminoso, con la siguiente salvedad:

- a) Anteriormente se recomendaba que el hormigón tuviera una resistencia de por lo menos  $30 \text{ N/mm}^2$  a fin de reducir la exfoliación y los daños causados por choques. Sin embargo la experiencia ulterior aconseja recomendar un valor de  $40 \text{ N/mm}^2$ . La segunda edición del Manual de Diseño de la BPF contiene gráficos de diseño basados en ese nuevo valor más elevado.
- b) Los pavimentos portuarios de hormigón preparado sobre el terreno se clasifican ahora en dos categorías principales, concretamente los pavimentos de hormigón preparados sobre el terreno y con armadura de tipo tradicional (armadura superior de  $4,34 \text{ kg/m}^2$ ) y hormigón armado con fibras de acero, que es un método nuevo. Ambos tipos figuran en la nueva edición del Manual de Diseño de la BPF, que contiene dos curvas diferentes en los gráficos de diseño, una para cada caso. En el capítulo siguiente se describe el pavimento de hormigón armado con fibras de acero.

#### Losas de hormigón prefabricado

7. Estas losas han dejado de utilizarse porque ya no son una solución viable. Esto se debe a los inconvenientes del sistema expuestos en el párrafo 67 de la Monografía original, que se resumen en el presente documento (véase párr. 39).

#### Bloques de hormigón

8. A medida que pasa el tiempo este tipo de pavimento va ganando importancia en los pavimentos de terminales de contenedores, especialmente en los países de Europa noroccidental, en los que este sistema ha llegado a ser más o menos el sistema corriente en las terminales de contenedores. En el próximo capítulo se describen las novedades que interesan a los bloques de hormigón.

#### Lechos de grava

9. La popularidad de los lechos de grava para las zonas de apilamiento de contenedores se ha extendido mucho y hay indicios de que seguirá progresando en el futuro. Esto se ha debido a las experiencias positivas en diversos puertos que han aplicado el sistema. Por ejemplo, tras una segunda fase de expansión, los lechos de grava cubren una superficie equivalente a 3.000 plazas de TEU en el puerto de Penang, Malasia. La administración del puerto comunica que el sistema da excelentes resultados técnicos y operacionales y permite además realizar economías considerables en comparación con otros métodos por lo que se refiere a los costos iniciales de construcción y de mantenimiento. El costo de construcción era de 10,76 dólares de Malasia por metro cuadrado, en comparación con 32,28 dólares para el pavimento bituminoso y 107,60 dólares para las losas de hormigón, que eran los sistemas de pavimentación utilizados antes de la construcción de lechos de grava (a finales de 1985 el tipo de cambio era de 2,43 dólares de Malasia por dólar de los EE.UU.).

10. Entre los puertos y terminales en los que actualmente se utilizan o se están construyendo lechos de grava figuran, en orden cronológico aproximado:

Ashdod (Israel)  
Limassol (Chipre)  
Hong Kong - Kwai Chung TS - MTL (Hong Kong)  
Rotterdam - Quick Dispatch (Países Bajos)  
Dusseldorf - DCD (República Federal de Alemania)  
Penang - PPC (Malasia)  
Haifa (Israel)  
Nhava Sheva (India)  
Singapur - Proyecto experimental (Singapur)  
Isle of Grain (Reino Unido)  
Rotterdam - ECT (New Sea Land Terminal) (Países Bajos).

Según los últimos informes se está estudiando la posibilidad de utilizar lechos de grava en puertos de Turquía, el Caribe y los Emiratos Arabes Unidos.

## Capítulo II

### NUEVOS MATERIALES Y METODOS DE CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE TERMINALES DE CONTENEDORES

#### A. Introducción

11. La introducción de nuevos materiales y métodos en la construcción de pavimentos de terminales de contenedores es en sí un proceso lento. No obstante, el tiempo transcurrido desde que se publicó la Monografía original ha sido particularmente productivo a este respecto. Han aparecido diversos materiales y métodos nuevos que es muy interesante estudiar en este Suplemento. Uno de esos materiales, el hormigón armado con fibras de acero, ha sido incluido por los dos autores en la nueva edición del Manual de Diseño de la BPF. Otros dos nuevos métodos de construcción de pavimentos, el llamado pavimento semirrígido flotante y el hormigón compactado con rodillo, también parecen ofrecer posibilidades de utilización en la construcción de pavimentos de terminales de contenedores.

12. En cada uno de esos tres casos es importante señalar que el sistema se ha aplicado ya efectivamente en un medio portuario. Por ello es muy conveniente examinarlos todos en este Suplemento. Los diseñadores de terminales de contenedores deberían estar al corriente de esos nuevos materiales y métodos de construcción, que pueden ser los más apropiados para sus necesidades concretas.

#### B. Novedades en materia de bloques para pavimentos

13. Los bloques o adoquines de hormigón, que se utilizaron por primera vez en los puertos de Europa septentrional, hoy son aceptados en todo el mundo como un importante material para la construcción de pavimentos industriales. Al introducirse en América del Norte se ha sentido la necesidad de contar con técnicas de instalación que permiten ahorrar mano de obra y esto ha llevado a la concepción de adoquines que se prestan específicamente a su colocación por medios mecánicos. En la figura 1 se muestra uno de esos adoquines. Su forma se presta a la colocación por medios mecánicos y sus bordes "ondulados" permiten agrupar hasta 30 unidades que se colocan directamente de la paleta a la superficie que ha de pavimentarse. También se está progresando en lo que se refiere a los adoquines rectangulares que siguen siendo del tipo más corriente. En particular se ha generalizado la utilización de espaciadores como medio de evitar la fisuración y la exfoliación de los bloques. Esos espaciadores suelen ser del tipo que se muestra en la figura 2.

14. Normalmente con las máquinas como la de la figura 3 pueden colocarse 700 m<sup>2</sup> de adoquines en un turno de ocho horas. Esas máquinas pueden trabajar en paralelo, de modo que la velocidad teórica de colocación de los adoquines es prácticamente ilimitada y sólo depende de la preparación del suelo y del suministro de adoquines y no de la instalación.

15. A medida que aumentan las cargas que han de soportar los pavimentos aumenta también el espesor de los adoquines y el espesor casi universal de 80 mm ha sido sustituido por 100 mm y en algunos casos se utilizan adoquines de 120 mm. Los autores han observado que los adoquines

Figura 1

Adoquín con bordes "ondulados"

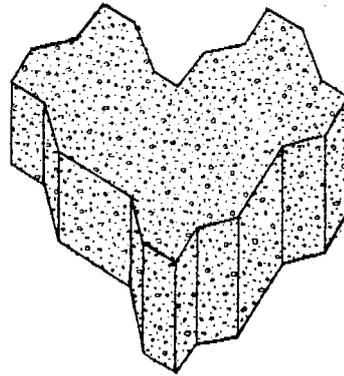


Figura 2

Adoquines rectangulares con separadores integrados

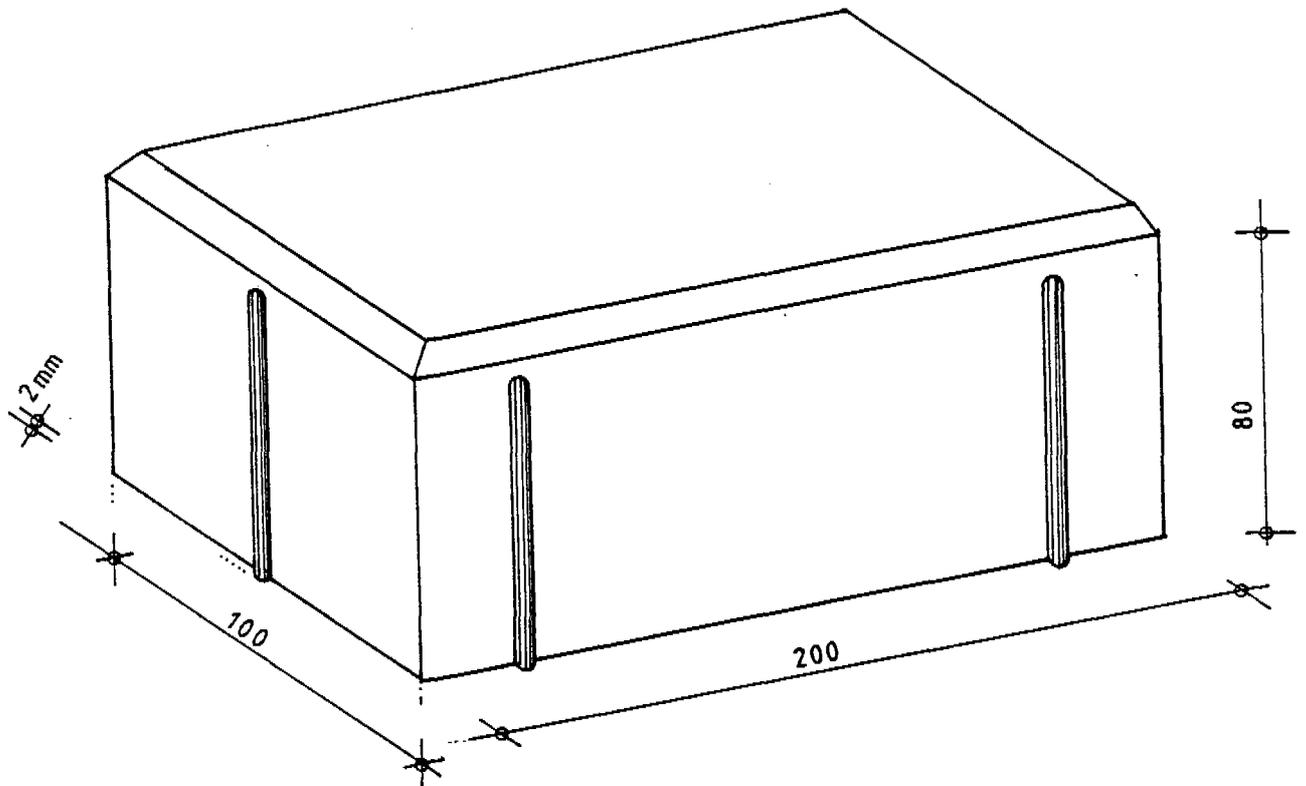
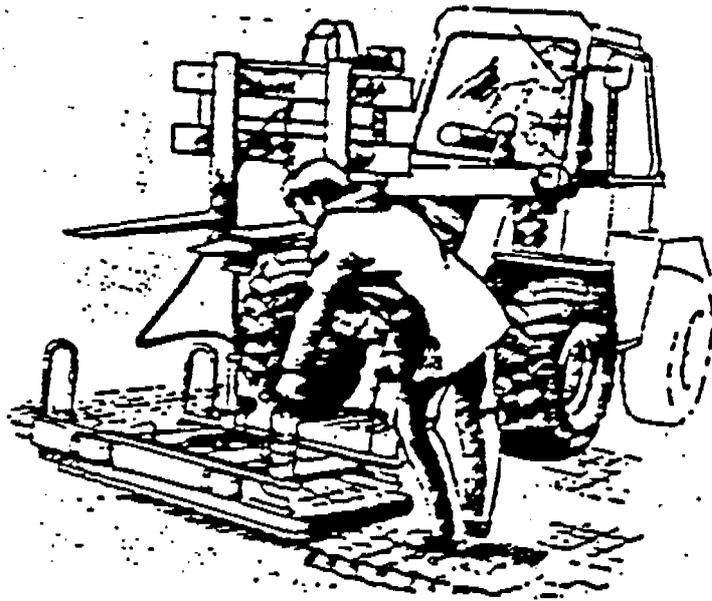
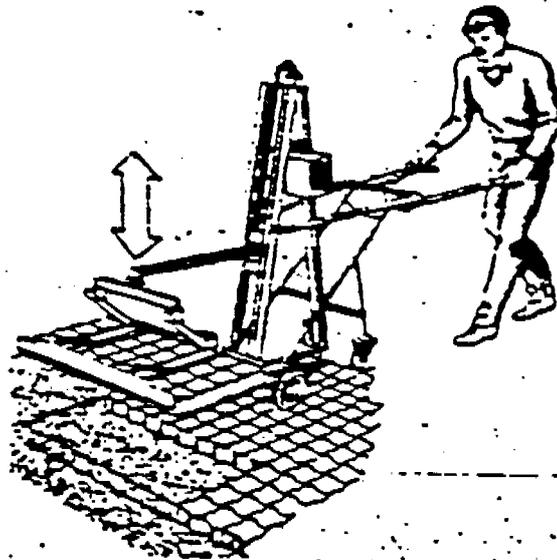


Figura 3

Máquinas para la colocación de adoquines



rectangulares de 100 x 200 mm y 80 mm de espesor son satisfactorios para todos los regímenes normales de carga, particularmente en las operaciones de manipulación de contenedores.

16. El sistema de pavimento semirrígido flotante es un sistema a base de bloques que se ha introducido últimamente en Valencia (España) y que se describe en la sección D de este capítulo.

17. Otras novedades en lo que se refiere a los adoquines son la formulación de normas nacionales y el establecimiento de un grupo para elaborar una norma europea. En general, esas normas especifican la resistencia a la comprensión o a la tracción y la durabilidad. La principal diferencia entre las normas nacionales estriba en el modo de garantizar la durabilidad. En algunos casos se especifica un contenido mínimo de cemento, mientras que en otros se estipula una prueba de congelación y descongelación. Todavía no se ha establecido la correlación entre resistencia y durabilidad.

### C. Pavimentos de hormigón armado con fibras de acero

#### 1. Generalidades

18. La introducción del hormigón armado con fibras de acero en los pavimentos portuarios ofrece posibilidades de aumentar la rentabilidad y los resultados de los pavimentos de hormigón en los puertos, haciendo que este tipo de pavimento resulte más competitivo. El sistema se basa en la utilización de fibras de acero, junto con cemento, áridos finos y gruesos y agua, para obtener un material compuesto que se llama hormigón con fibras de acero. Ese hormigón armado especial tiene unas características mecánicas y físicas mucho mejores que las del hormigón corriente.

19. Durante el último decenio se ha utilizado con éxito esta nueva tecnología en una serie de pavimentos industriales y de aeropuertos que soportan cargas de la misma magnitud que los pavimentos de los puertos, lo que ha demostrado las grandes ventajas del hormigón con fibras de acero respecto del hormigón tradicional así como de otros tipos corrientes de pavimentos. Últimamente el sector portuario ha reconocido la realidad de esas ventajas lo que ha llevado a la adopción de este tipo de pavimentos para cargas pesadas en diversos puertos, como Gante (Bélgica), Limassol (Chipre) y Algeciras (España), donde este tipo de pavimentos se utiliza desde 1985 (véase la figura 4).

#### 2. Fibras de acero con forma de gancho encoladas en haces

20. El tipo de fibras de acero más eficaz, y por lo general satisfactorio, que se utiliza en el hormigón armado se fabrica a partir de alambre de acero trefilado (diámetro usual 0,6 mm y longitud 80 mm), con los extremos en forma de gancho (lo que permite un anclaje muy sólido en el hormigón). Esas fibras, que se encolan en pequeños haces, permiten evitar el "efecto de apelsonamiento" y no plantean los problemas que puede plantear la mezcla cuando las fibras están separadas.

21. Estas fibras de acero con forma de gancho y encoladas (véase la figura 5) forman haces que contienen aproximadamente 30 fibras, y representan un agregado adicional que no necesita más equipo especial que el que se utiliza

normalmente para mezclar el hormigón. Al encolar en haces compactos las fibras de acero sueltas es posible mezclar fibras de acero de mayor longitud que, por consiguiente, constituyen una armadura más eficaz. Esos haces pueden añadirse a los áridos o al hormigón ya mezclado. Tan pronto como empieza el proceso de mezcla los haces se distribuyen por toda la masa y, siendo la cola soluble en agua, las fibras de acero, debido a la acción de la humedad de la mezcla y a la acción erosiva de los áridos, se vuelven a separar en fibras individuales (véase la figura 6), lo que garantiza una mezcla homogénea.

22. Esas fibras de forma especial están hechas de alambre de acero duro trefilado y tienen una resistencia a la tracción de  $1.200 \text{ N/mm}^2$ . Su proporción en la mezcla puede ser aproximadamente el 60% de la que sería necesaria tratándose de fibras rectas.

23. Hay que señalar que la discusión que viene a continuación se refiere a este tipo concreto de fibras de acero de forma especial del que los autores tienen una experiencia personal, y por lo tanto es posible que no se pueda aplicar por entero a otros tipos de fibras de acero.

### 3. Propiedades y ventajas de los pavimentos de hormigón armado con fibras de acero

24. La inclusión de fibras de acero en el hormigón modifica las propiedades del material compuesto resultante. La ductilidad y la alta resistencia a la tracción de las fibras compensan la baja resistencia a la tracción y escasa ductilidad del hormigón y mejoran las propiedades mecánicas y físicas del material compuesto. También mejoran considerablemente ciertas propiedades como la resistencia a la fatiga y a los choques (véase la figura 7) y la rigidez. Asimismo aumenta apreciablemente la resistencia a la tracción y a la flexión del hormigón armado con fibras de acero. La resistencia y la capacidad de las fibras para impedir la propagación de las fisuras depende sobre todo de la ligazón entre las fibras y el hormigón (forma de las fibras) así como del espaciamiento de las fibras (relación entre dimensiones y proporción de fibras).

25. La ductilidad del hormigón con fibras es mayor que la del hormigón corriente. Como se ve en la figura 8, el hormigón armado con fibras de acero conserva una considerable capacidad para soportar cargas después de la fisuración inicial. En el caso del hormigón corriente la carga de primera fisuración y la carga de rotura son sinónimos, pero en el hormigón armado con fibras de acero las fisuras no pueden prolongarse sin que primero las fibras se alarguen o se desunen. En consecuencia, hace falta más energía para llegar a la rotura completa. Una vez que se ha llegado a la carga límite, la resistencia empieza a disminuir, pero tampoco en este caso se produce una rotura catastrófica.

26. Otra propiedad del hormigón armado con fibras de acero que le hace superior al hormigón corriente es la resistencia a la exfoliación y al desgaste. No existe una medida cuantitativa de la resistencia a la exfoliación, pero cualitativamente esa propiedad puede determinarse a partir de los resultados de las pruebas de carga dinámica y explosiva. Esas pruebas ponen de manifiesto que, gracias a la presencia de las fibras el hormigón con fibras no se desintegra con la carga.

Figura 4

Pavimentos de hormigón armado con fibras de acero en la terminal de contenedores de Algeciras

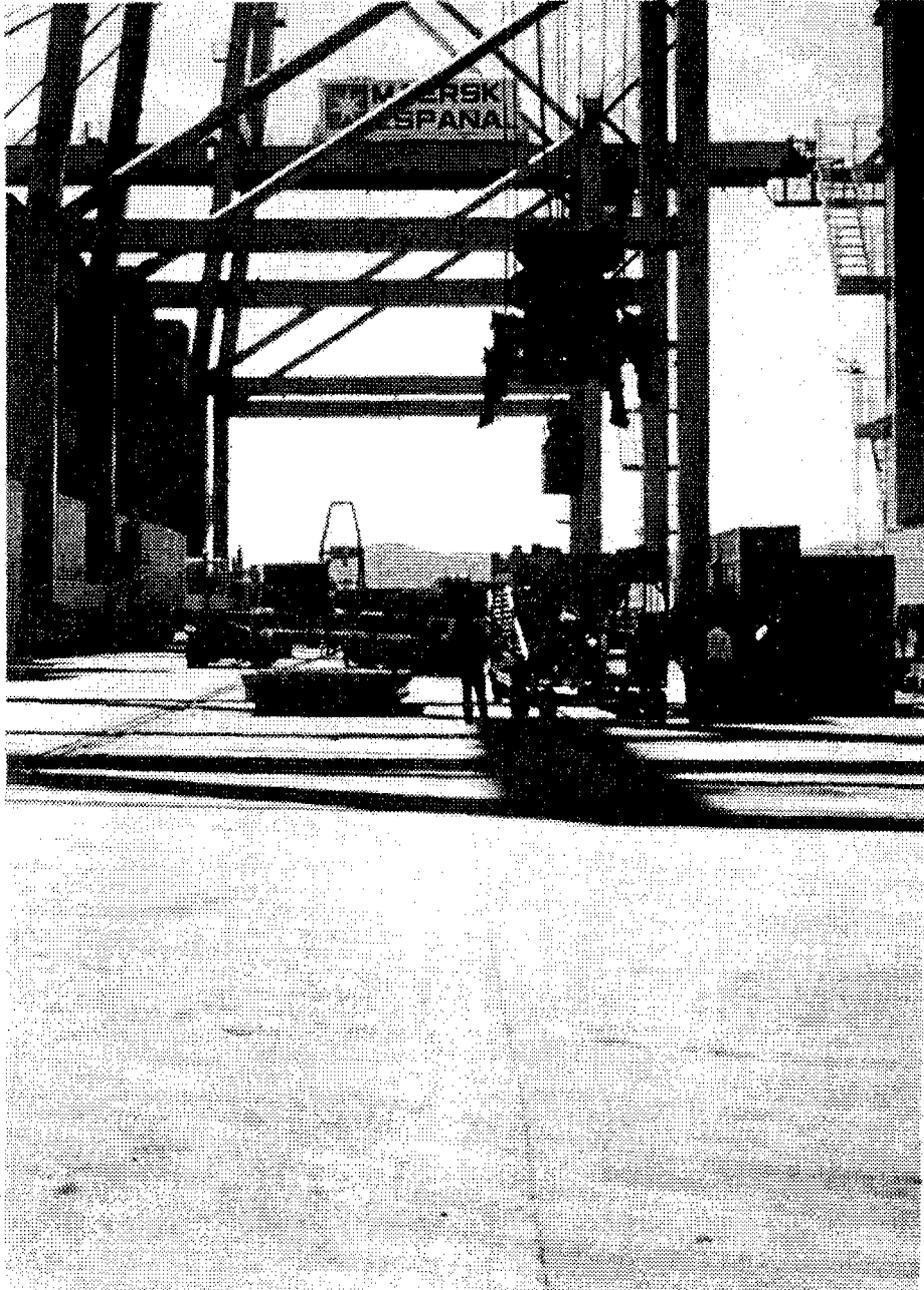


Figura 5

Haces de fibras de acero encoladas

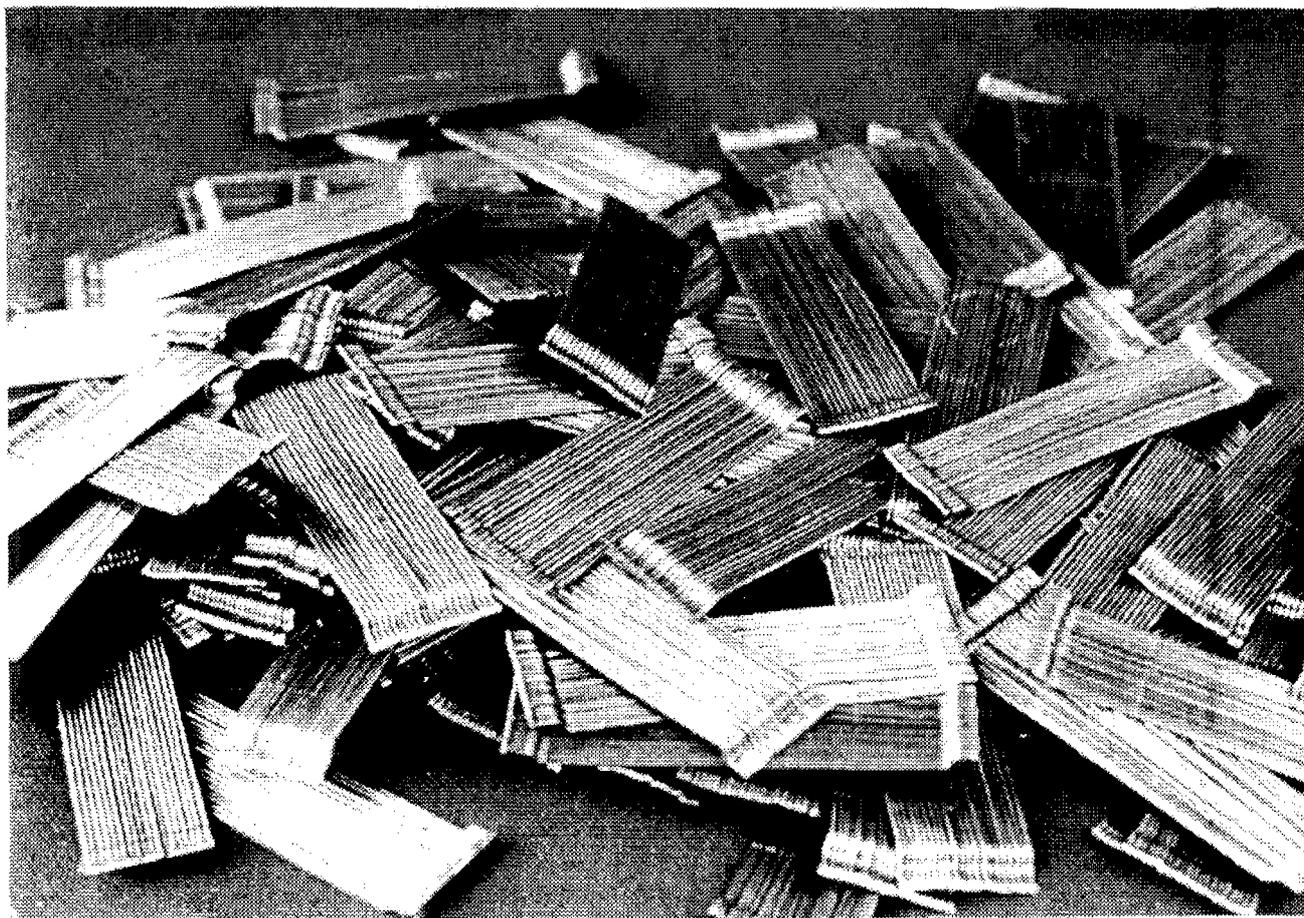


Figura 6

Dispersión de las fibras de acero en la mezcla de hormigón



Figura 7

Resistencia al choque de diversos tipos de hormigón

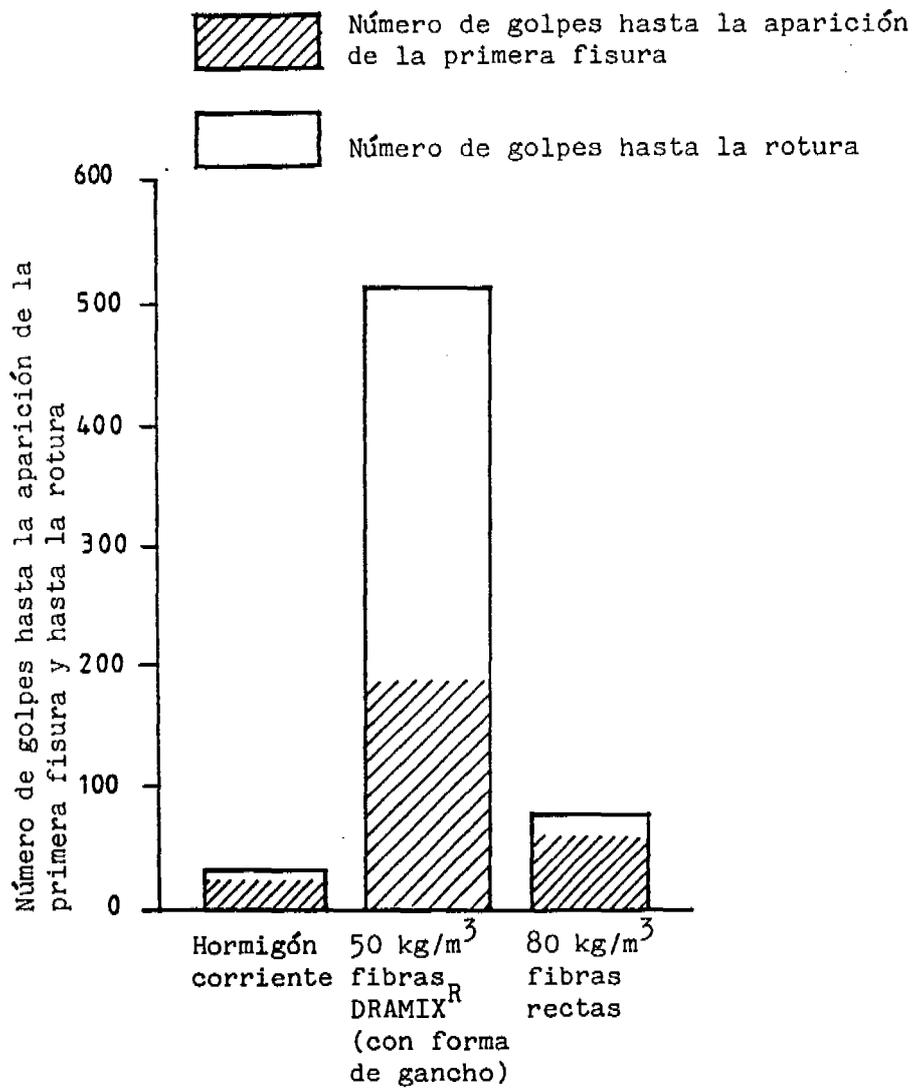
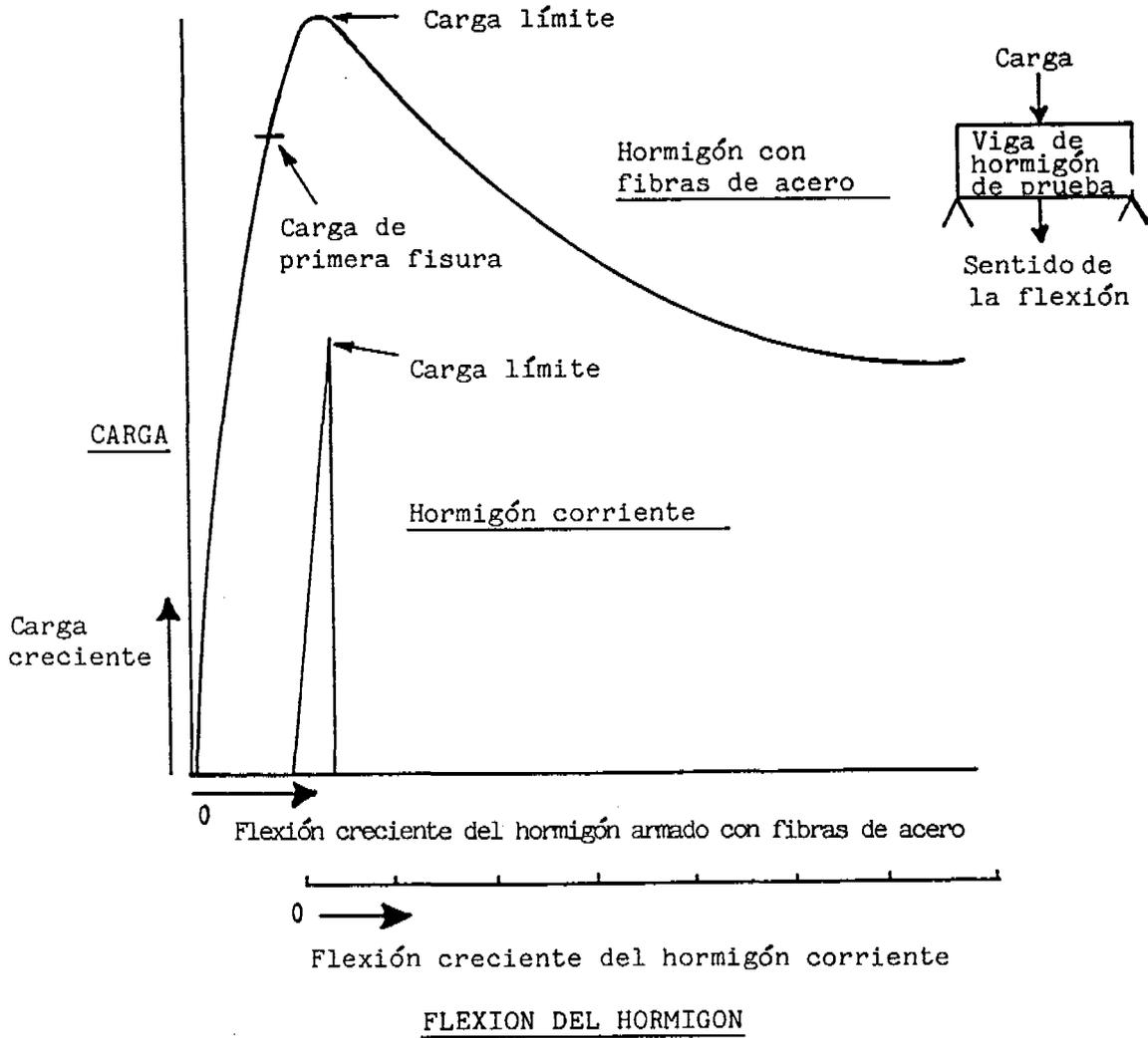


Figura 8

Curvas típicas de carga y de flexión para el hormigón corriente y el hormigón armado con fibras de acero



27. Los requisitos que han de cumplir los pavimentos en los puertos son muchos y muy elevados, pero en lo que respecta a las cargas pueden agruparse en dos categorías:

- Las cargas dinámicas de los vehículos y particularmente del equipo pesado de manipulación (el equipo de manipulación de contenedores impone las cargas más fuertes).
- Cargas estáticas concentradas o cargas uniformes de los contenedores y de otros tipos de mercancías almacenadas en los puertos.

28. En un puerto, un pavimento que ha soportar cargas pesadas está normalmente sometido a esfuerzos de tracción en las caras superior e inferior de la losa de hormigón. La ubicación de esos esfuerzos puede variar cuando varía la de las zonas cargadas. Ahora bien, no siempre es fácil absorber esos esfuerzos de tracción armando el hormigón con barras o armaduras. En la práctica no siempre es fácil colocar una armadura de mallado y mantenerla en la posición correcta mientras se vierte el hormigón, especialmente cuando las armaduras van en dos capas. Normalmente en los pavimentos de hormigón armado de tipo corriente la operación del hormigonado se efectúa en dos fases para facilitar la colocación correcta de las armaduras. Con las fibras de acero el hormigón va armado en la masa. Esto quiere decir que el pavimento puede absorber esfuerzos de igual magnitud en la parte superior y en la parte inferior de la losa.

29. El hormigonado directo en una sola vez sobre una sub-base compactada cubierta con láminas de polietileno, permite un ahorro de tiempo considerable. De este modo se evitan los problemas que plantea el almacenamiento y colocación de las armaduras. Además se puede construir un pavimento más delgado gracias a la mayor resistencia a la flexión y a la fatiga del material. Esto no sólo permite ahorrar gastos de material sino que también reduce el tiempo necesario para la construcción y brinda importantes economías de mano de obra, en comparación con la construcción de pavimentos de hormigón de tipo corriente.

30. Además, al absorber y distribuir mejor los esfuerzos de retracción es posible aumentar el espaciamiento de las juntas en un 50% o más en comparación con el pavimento de hormigón de tipo corriente, lo que contribuye a reducir aún más los costos. Como ejemplo cabe citar el del Puerto de Limassol, donde el espaciamiento de las juntas se aumentó de 5 m a 7,5 m (véase la figura 9).

31. Esencialmente hay dos tipos de pavimentos portuarios para los que cabe utilizar armaduras de fibras de acero:

- a) Pavimentos nuevos sobre superficies preparadas;
- b) Pavimentos de refuerzo relativamente delgados, adheridos o no a los pavimentos existentes, para modificar el nivel o para reforzar o rehabilitar el pavimento existente.

En ambos casos, y particularmente en el caso b), el menor espesor que puede utilizarse en comparación con otros tipos de construcción de pavimentos, con unos resultados y una resistencia comparables, es una gran ventaja desde el punto de vista del ingeniero portuario.

32. Las ventajas del hormigón armado con fibras de acero pueden resumirse como sigue:

- a) Mayor resistencia a la tracción, a la flexión (especialmente flexión efectiva), a la compresión y al esfuerzo constante;
- b) Mayor resistencia a la exfoliación;
- c) Mayor resistencia a la fatiga;
- d) Mayor rigidez;
- e) Mayor resistencia a los choques de cargas estáticas y dinámicas;
- f) Mayor ductilidad (capacidad de de formación);
- g) Mayor capacidad para soportar cargas después del fisurado;
- h) Mayor resistencia a la formación y propagación de fisuras;
- i) Simplicidad de construcción por cuanto se presta muy bien a la utilización de máquinas pavimentadoras de encofrado deslizante y otras máquinas corrientes de construcción de carreteras (véase la figura 10);
- j) Ahorro de gastos de mantenimiento y mayor vida útil;
- k) Mayor rigidez inicial que permite ponerlo rápidamente en servicio;
- l) Mayor facilidad para mantener los niveles relativos durante la pavimentación; capas superpuestas gracias al menor espesor del hormigón armado con fibras de acero;
- m) Más distancia entre las juntas de expansión.

#### D. Pavimento semirrígido flotante

33. Este nuevo sistema de pavimento, que puede soportar cargas pesadas (véase la figura 11), tiene muchas analogías con el sistema de losas de hormigón prefabricadas, que no ha resultado viable. Sin embargo, el nuevo sistema conserva todas las ventajas de su predecesor mientras que suprime todos sus inconvenientes. Este ingenioso diseño también añade diversas ventajas que le son propias.

34. El pavimento flotante semirrígido consta de los siguientes componentes básicos.

- Bloques de hormigón prefabricados: están hechos de hormigón armado o, más corrientemente, sin armar y su forma y tamaño son las que se indican en la figura 12. El hormigón puede estar armado en la masa con fibras de acero, a fin de obtener secciones más delgadas y ligeras que ofrecen una mayor resistencia a los choques, mejor ductilidad, etc.

Figura 9

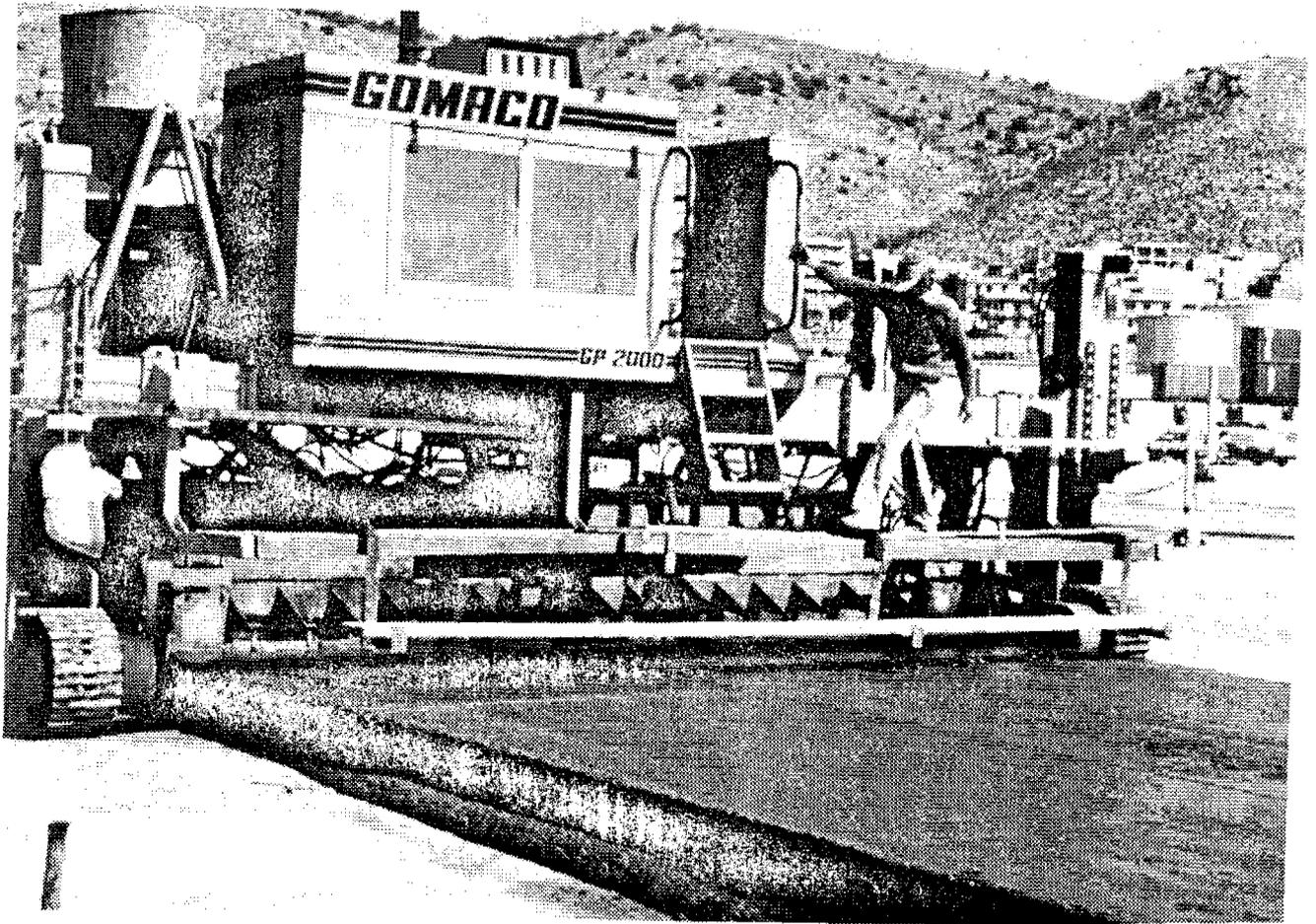
Juntas en el pavimento de hormigón armado con fibras de acero  
en el puerto de Limassol



El presente informe describe el procedimiento utilizado para la colocación de juntas de construcción en el pavimento de hormigón armado con fibras de acero en el puerto de Limassol. El objetivo principal es garantizar la durabilidad y resistencia del pavimento, evitando la formación de grietas y fisuras durante el proceso de curado y uso posterior. El método empleado consiste en utilizar una sierra de disco para cortar las juntas a intervalos regulares, asegurando una profundidad adecuada y un alineamiento preciso. Este proceso es esencial para la correcta ejecución del pavimento y para cumplir con los requisitos técnicos establecidos.

Figura 10

Utilización de una máquina pavimentadora de encofrado deslizante para la construcción de un pavimento de hormigón armado con fibras de acero en la nueva terminal de contenedores del puerto del Pireo



- Juntas de caucho: la forma y el tamaño de las juntas se muestra en la figura 13. Las juntas se colocan alternativamente alrededor de bloques adyacentes y encajan en ranuras especiales formadas durante la prefabricación. Las principales funciones de las juntas de caucho son unir los bloques, absorber la deformación de la arena en que se apoyan los bloques de hormigón cuando tienen que soportar cargas superficiales, impermeabilizar el pavimento (es decir, impedir la penetración del agua en la capa de asiento a través de las juntas) y transferir y distribuir la carga aplicada a los bloques adyacentes minimizando así la presión ejercida sobre el terreno.
- Arena: los bloques se colocan sobre una capa de arena que ofrece un asiento uniforme (véase la figura 14). También se rellena con arena la cavidad interior de los bloques por el orificio previsto con tal fin (este orificio, que también se utiliza para levantar los bloques, se cierra herméticamente una vez que se han colocado éstos), con lo que aumentan el apoyo y la estabilidad de los bloques. Si se produce un asiento, diferencial o uniforme, no deseado se puede inyectar arena a través del orificio quitando previamente el tapón (que suele estar hecho de un material bituminoso o de cualquier otro material que permita quitar fácilmente el tapón pero que sea impermeable).

35. La inyección de arena por el orificio es fácil de hacer, utilizando una sencilla barrena de tipo helicoidal que permite llenar todos los huecos (véase la figura 15). Una vez terminada la inyección de arena se termina la operación aplicando un rodillo vibrador al pavimento (figura 16).

36. Los bloques de hormigón de alta calidad dan la rigidez necesaria. Pero, al mismo tiempo el sistema, gracias a las juntas de caucho, ofrece una flexibilidad considerable y por eso se considera semirrígido.

37. También se llama a este sistema de pavimentación "flotante" por su efecto de resorte, conseguido gracias al efecto combinado de las juntas de caucho y del asiento de arena, es decir, que cuando se aplica una carga a una determinada pieza ésta y las que la rodean se asientan un poco, y cuando se retira la carga vuelven a su nivel original.

38. Las prolongadas pruebas de este sistema de pavimento en el nuevo muelle Este del puerto de Valencia (España) demuestran claramente ese efecto de resorte, así como la capacidad del sistema para soportar fuertes cargas tanto móviles como estáticas. Uno de los autores ha comprobado excelentes resultados del sistema. De momento se ve claramente hasta qué punto se reducen al mínimo los inconvenientes del sistema original de losas de hormigón prefabricado y hacen en cambio máximas las ventajas.

39. Los inconvenientes del sistema de losas de hormigón prefabricado se expusieron en el párrafo 67 de la Monografía original y se resumen brevemente aquí:

- a) Costo elevado debido al gran tamaño de las losas. Los nuevos bloques miden 60 x 60 cm, en comparación con los 200 x 200 cm de las losas de hormigón prefabricado originales, y su peso es de unos 170 kg, en comparación con 1.300 kg, lo que representa una reducción de 1 a 11 de la superficie y de 1 a 7,6 del peso.

Figura 11

Pruebas del sistema de pavimento semirrígido flotante  
en el puerto de Valencia

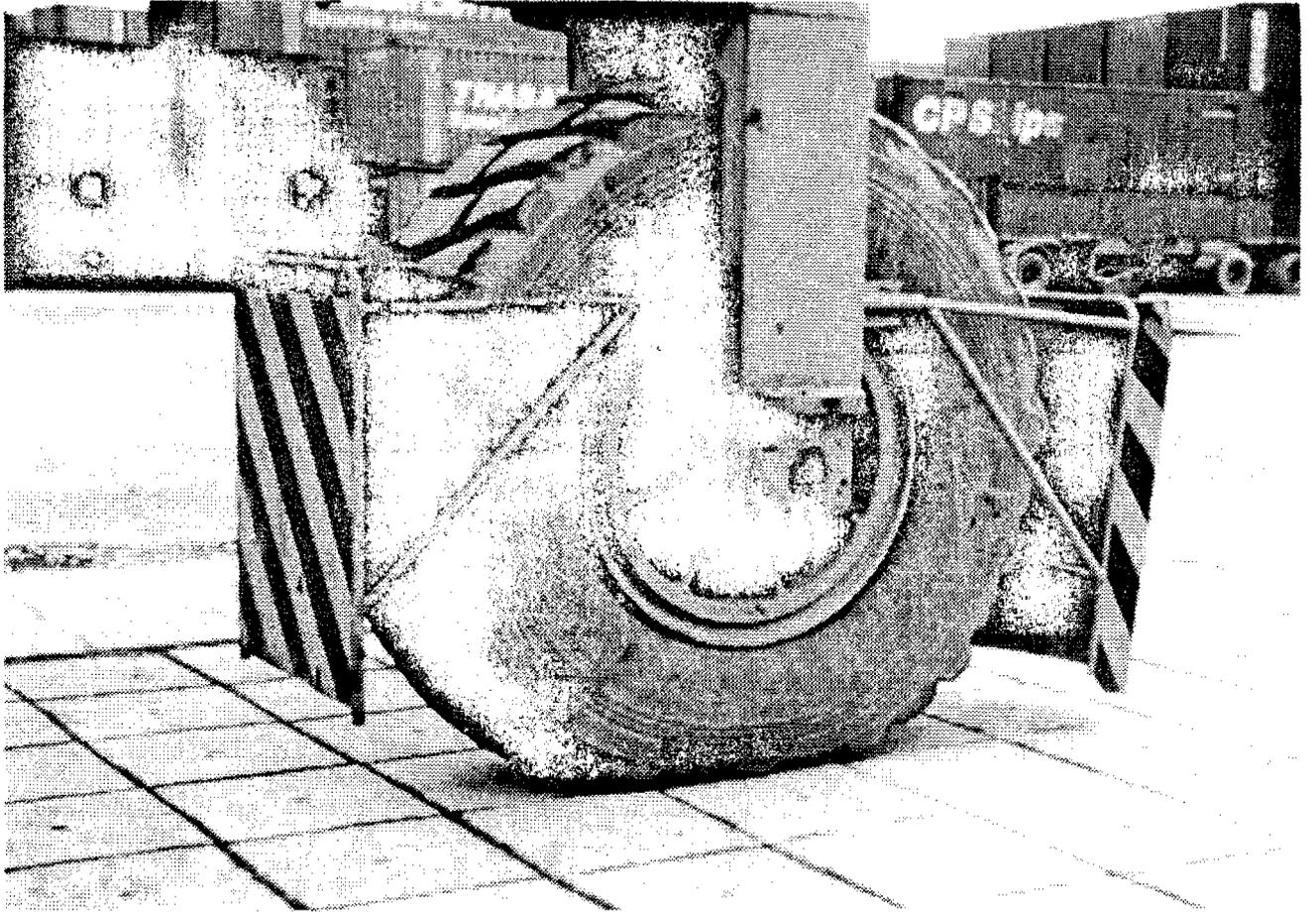


Figura 12

Bloque de hormigón prefabricado para el pavimento  
semirrígido flotante

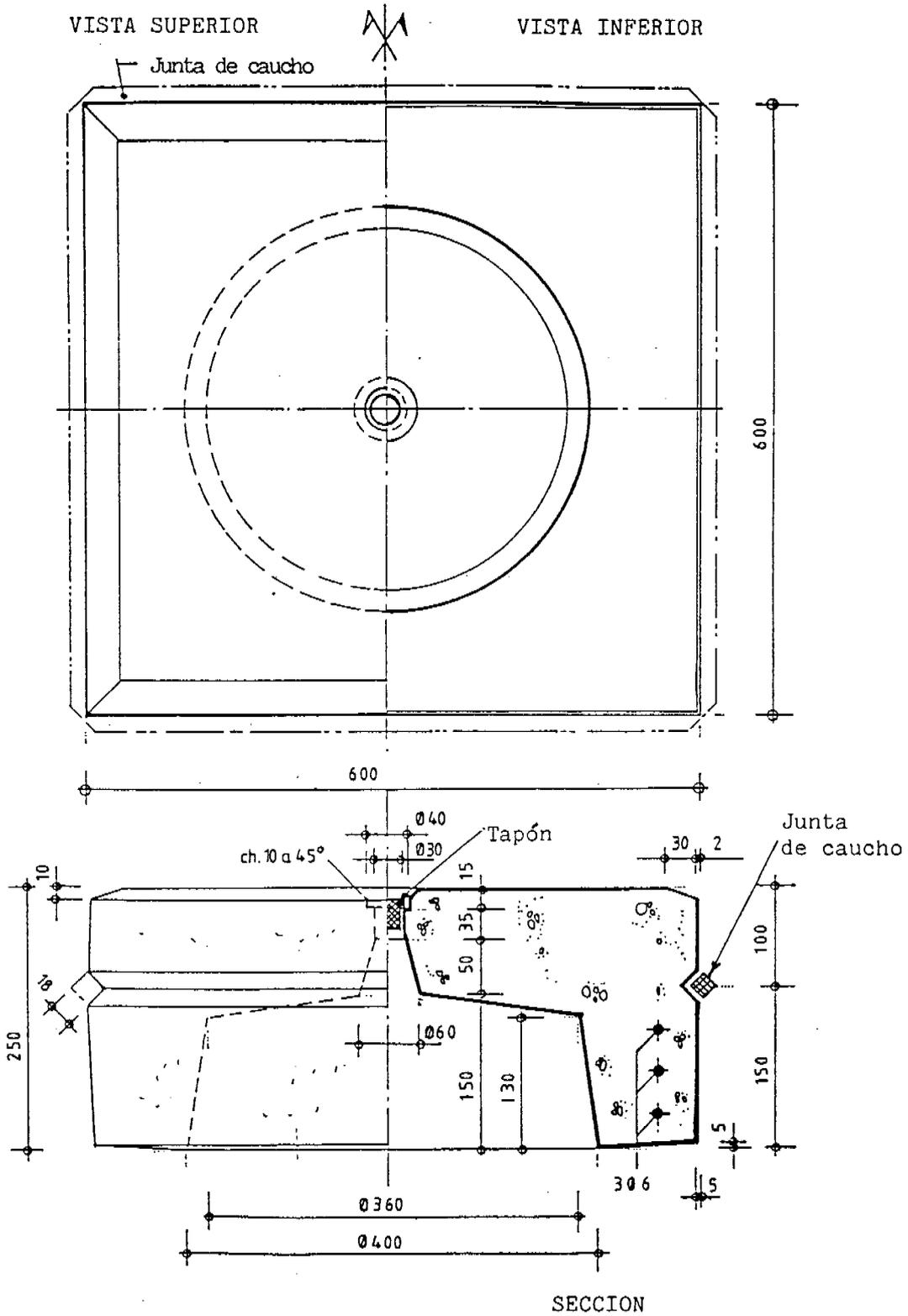


Figura 13

Juntas de caucho para pavimento semirrígido flotante



Figura 14

Instalación de bloques prefabricados sobre una capa de arena,  
mostrando la colocación alternada de las juntas de caucho

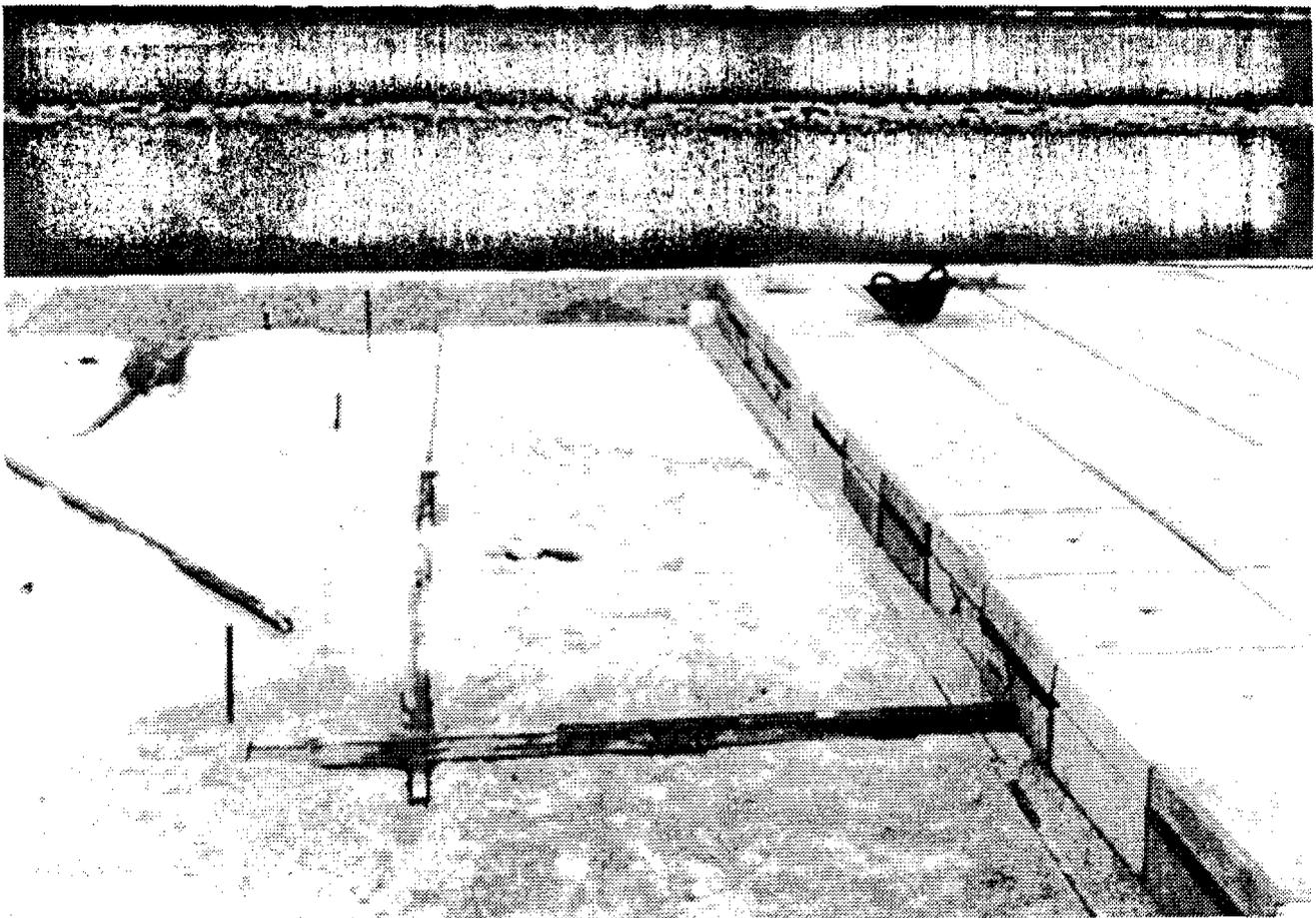


Figura 15

Inyección de arena con una barrena de tipo helicoidal

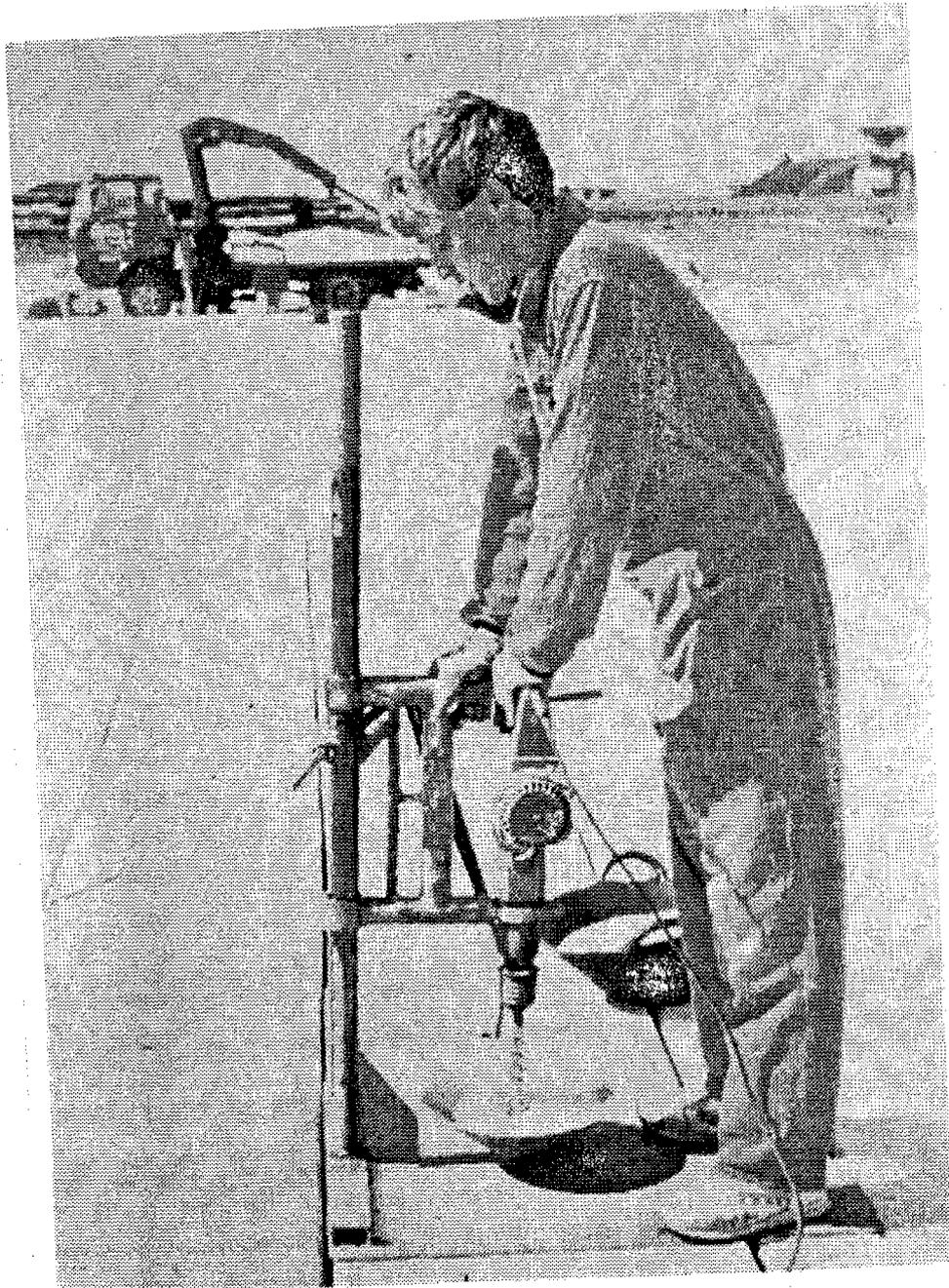


Figura 16

Rodillo vibrador para asentar el pavimento semirrígido flotante



- b) Fisuras en las esquinas, como resultado de los muy considerables momentos de flexión debidos a que las losas son mayores que la anchura de vía del equipo de manipulación y al asiento del subsuelo: esa fisuración se agrava por el efecto de succión que se produce al penetrar el agua debajo de las losas. Las dimensiones horizontales de los nuevos bloques (60 x 60 cm) son aproximadamente iguales o muy parecidas a la superficie de contacto de las ruedas de los tipos de máquinas de manipulación de contenedores más corrientes y, por consiguiente, las piezas están sujetas sobre todo a compresión directa y no a flexión. Esa compresión se transmite directamente al subsuelo arenoso y gracias a la cavidad que llevan los bloques hay menos peligro de que la arena se desplace lateralmente, de modo que siempre está garantizada la superficie de apoyo. Además la presencia de juntas de caucho entre todos los bloques hace que el sistema de pavimentación sea impermeable.
- c) Entre las diversas losas hay diferencias de asentamiento. Los nuevos bloques están unidos por una junta de caucho con lo que los bloques adyacentes están unidos de manera permanente; esto elimina la posibilidad de diferencias de asiento entre los bloques.

40. Las ventajas de los pavimentos semirrígidos flotantes son:

- Buen control de calidad en la fabricación;
- Toda la rigidez se obtiene en el endurecimiento previo;
- Los dispositivos para la colocación de los bloques son sencillos;
- El pavimento es operacional inmediatamente;
- Capacidad de deformación;
- Posibilidad de recuperar los niveles necesarios sin levantar el pavimento;
- Facilidad para levantar y volver a colocar el pavimento si es preciso instalar servicios subterráneos;
- Sencillez de mantenimiento;
- Eliminación de los pavimentos provisionales en zonas ganadas al mar o en zonas donde pueden producirse importantes asentamientos.

Los ingenieros que han creado y probado este sistema afirman que su costo es comparable al de otros sistemas.

41. De todo esto se desprende claramente que este nuevo sistema de pavimento para cargas pesadas es muy prometedor. Sin embargo, los autores estiman que antes de incluir esta opción en su cuadro sobre la idoneidad de los pavimentos para diferentes operaciones, teniendo en cuenta la rentabilidad y los resultados (véase la sección F de este capítulo), se necesita más información,

especialmente sobre los costos, que sólo podrá obtenerse cuando se haya aplicado el sistema en algunos puertos, y no con carácter experimental sino en gran escala.

#### E. Pavimentos de hormigón compactado con rodillos

42. El hormigón apisonado es un material de construcción de pavimentos derivado del hormigón de asiento cero utilizado originalmente en la construcción de grandes presas. Como su nombre indica, el hormigón se compacta con un rodillo, lo mismo que los materiales de base corrientes con áridos y cemento. La principal diferencia entre el hormigón compactado con rodillos y esos otros materiales es que la superficie puede utilizarse directamente como superficie de rodadura. Esencialmente el hormigón compactado tiene propiedades análogas a las de los pavimentos de tipo tradicional con hormigón de cemento Portland, con las siguientes diferencias.

- a) Hormigón de asiento cero. Inmediatamente después de vertido este hormigón tiene una consistencia suficiente para soportar la carga del equipo de apisonado y, al mismo tiempo, su maleabilidad le permite responder al esfuerzo de compactación de ese equipo.
- b) Resistencia. El hormigón compactado debe tener una resistencia suficiente para poder ser utilizado como principal componente estructural de un pavimento. Esto significa que la resistencia mínima a la compresión a los 28 días debe ser aproximadamente de  $30 \text{ N/mm}^2$ . A veces, particularmente en América del Norte, se utiliza como criterio la resistencia a la flexión y se suele fijar un valor de  $3 \text{ N/mm}^2$ .
- c) Durabilidad. Al contrario de los pavimentos tradicionales de hormigón, el hormigón compactado con rodillos no puede ser celular. Sin embargo, el procedimiento de construcción parece dejar suficientes bolsas de aire para que pueda resistir a las heladas. La experiencia en América del Norte indica que el hormigón apisonado puede dar buenos resultados en condiciones moderadas de congelación y deshielo.
- d) Materiales. La estabilidad del hormigón durante la compactación guarda relación con la granulometría de los áridos. Unos áridos de granulometría correcta, análogos a los que se utilizan en los materiales bituminosos, parecen los más convenientes. Normalmente el tamaño máximo de la grava es de 20 mm y normalmente los áridos contienen una mayor proporción de materiales que pasan por el tamiz de 75 micrones que los áridos del hormigón corriente con cemento portland. Se considera aceptable un porcentaje entre el 5 y el 10% de finos no plásticos. Este material fino puede resultar beneficioso por cuanto sirve de relleno y contribuye así a dar una textura superficial más compacta. Esto no sólo aumenta la durabilidad superficial, sino que también permite reducir la proporción de cemento. En el caso de una construcción en dos capas, en la capa inferior la grava puede tener un tamaño máximo de 40 mm, aunque esto puede provocar alguna segregación.

43. En los Estados Unidos se han establecido métodos de diseño estructural destinados concretamente al hormigón compactado con rodillos. La Portland Cement Association (PCA) ha desarrollado un procedimiento de diseño basado en la fatiga y en las cargas de trabajo. Ese método puede obtenerse en la Portland Cement Association, 5420 Old Orchard Road, Skokie, Illinois 60077, Estados Unidos. En el diseño de pavimentos de hormigón compactado también puede emplearse el Manual de la BPF. En este caso hay que utilizar los gráficos correspondientes a los pavimentos de hormigón rígidos. La razón para utilizar esos gráficos es que la capacidad de deformación a la flexión del hormigón compactado con rodillos es análoga a la del hormigón para pavimentos.

F. Cuadro revisado de idoneidad de los pavimentos

44. Las opciones que se ofrecen para la construcción de un pavimento en una terminal de contenedores y que se han descrito en la Monografía original y en este Suplemento son las siguientes:

- a) Afirmado bituminoso o asfáltico;
- b) Hormigón preparado sobre el terreno;
- c) Losas de hormigón prefabricado;
- d) Bloques de hormigón para pavimento;
- e) Lechos de grava;
- f) Hormigón armado con fibras de acero preparado sobre el terreno;
- g) Pavimento semirrígido flotante;
- h) Hormigón compactado con rodillos;
- i) Sistemas combinados (compuestos).

45. En el cuadro 2 de la Monografía original se indica la idoneidad de los pavimentos para diferentes operaciones, teniendo en cuenta su rentabilidad y su resultado. Se ha revisado el cuadro teniendo en cuenta la experiencia acumulada por los autores, ya personalmente o mediante el estudio de casos concretos, y la introducción de nuevos progresos en el sector de los pavimentos portuarios. Dicho cuadro, que se presenta a continuación, debe considerarse conjuntamente con todo el material presentado en la Monografía original, y en particular los comentarios hechos en los párrafos 27 a 34. Además han de tomarse en consideración los siguientes extremos en relación con el cuadro revisado.

46. Lo mismo que en el cuadro original no se incluyen los tipos de pavimentos descritos como "sistemas combinados" porque, como se indica en los párrafos 85 a 89, las formas que pueden revestir los pavimentos de esta categoría son ilimitadas y no hay manera práctica de considerar esos sistemas en un cuadro sinóptico. Por las razones que se dan en el párrafo 39 también se han excluido del cuadro las losas de hormigón prefabricado.

47. Dos de los nuevos sistemas de pavimentos portuarios, es decir, el "hormigón compactado con rodillos" y el "pavimento semirrígido flotante", no se han incluido en el cuadro revisado por varias razones. Aunque los datos técnicos apuntan a que los dos tipos de pavimento tienen posibilidades, todavía no se ha generalizado bastante su utilización en las terminales de contenedores, tanto en lo que respecta al número de aplicaciones como a los años de experiencia. Así, lo limitado de su utilización hasta la fecha no ha permitido a los autores evaluarlos de manera completa en lo que se refiere a su rentabilidad y sus resultados con vistas a su aplicación en todo el mundo. Sin embargo esto no debería impedir que a los ingenieros portuarios consideraran esos dos sistemas de pavimentos como opciones posibles. Se espera que al cabo de unos años de experiencia con esos dos sistemas puedan incluirse en el cuadro.

Cuadro revisado

Idoneidad de los pavimentos para diferentes operaciones,  
teniendo en cuenta su rentabilidad y su resultado

Clave: 1 = evítese en lo posible; 5 = solución razonable;  
10 = solución recomendada

Tipo de operación	Asfalto	Losas de hormigón fabricadas sobre el terreno	Hormigón armado con fibras de acero preparado sobre el terreno	Bloques de hormigón	Lechos de grava
Apilamiento de contenedores	1	3	6	7	10
Zonas de estacionamiento de remolques	2	7	7	7	-
Callejones de rodadura de las carretillas-pórtico	1	5	7	7	-
Zonas de clasificación de carretillas-pórtico	4	6	7	7	-
Zonas de clasificación de carretillas elevadoras	8	6	6	6	-
Zonas de clasificación de vehículos de carretera	2	6	8	8	-
Zonas de trabajo de grúas móviles	2	7	8	5	-
Grúas de apilamiento de patio	1	3	4	4	10
Zonas de mantenimiento	1	8	10	5	-

**Nota:** Para utilizar este cuadro hay que referirse a los párrafos 14 a 34 de la Monografía N° 5 y a los párrafos 44 a 48 del presente Suplemento.

### Capítulo III

#### NUEVOS METODOS DE MANTENIMIENTO, REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE PAVIMENTOS

##### A. Material para la reparación rápida de pavimentos

48. Los pavimentos en general, y en particular los pavimentos de los puertos sufren graves deterioros superficiales debido a las cargas muy fuertes que han de soportar (véase la figura 17). Es corriente no hacer caso de los pequeños baches, fisuras, depresiones, desconchados, zonas fracturadas y juntas en las superficies de asfalto y de hormigón, sin pararse a considerar las posibles consecuencias. Las horquillas de las carretillas elevadoras, las cantoneras de los contenedores, las ruedas de apoyo de los remolques, los gatos estabilizadores de las grúas móviles, las cargas dinámicas que impone el equipo de manipulación de contenedores, los choques causados por la manipulación brusca de las cargas, los bordes cortantes de algunos cargamentos o sus embalajes son algunas de las causas más corrientes del deterioro de la superficie de los pavimentos de los puertos.

49. Esos desperfectos del pavimento, aunque normalmente son superficiales y de pequeñas dimensiones, si no se reparan inmediatamente y por completo pueden dar lugar a roturas estructurales o incluso totales de los pavimentos, que en última instancia requerirán un mantenimiento costoso y causarán interrupciones serias de las operaciones portuarias. Además, en muchas ocasiones los baches son un peligro para el tráfico y contribuyen a causar daños mecánicos a los vehículos y al equipo de manipulación de la carga, e incluso accidentes graves.

50. En consecuencia, una administración portuaria prudente debería tomar a tiempo las medidas correctoras necesarias, porque una vez que empieza a deteriorarse la superficie del pavimento no está lejos el momento en que éste dejará de ser utilizable, y su degradación rápida se produce en plazo breve, particularmente en caso de mal tiempo.

51. De estas consideraciones se desprende claramente que hay dos incentivos importantes para la reparación inmediata de los mencionados defectos y deterioros de los pavimentos portuarios. En primer lugar, para mantener una superficie de rodadura lisa y llana para el tráfico, de modo que haya menos riesgos de accidentes. En segundo lugar, para evitar ulteriores operaciones de mantenimiento a escala media y grande, que resultan costosas y que también causarán interrupciones importantes de las operaciones portuarias.

52. La experiencia a largo plazo muestra que si se produce el deterioro de pequeñas superficies de algunos centímetros cuadrados, en pocos meses se transforman en grandes baches de varios metros cuadrados. Sin embargo, aunque los ingenieros portuarios tienen perfecta conciencia de ese peligro, la movilización, que lleva tiempo y es costosa, del necesario equipo de mantenimiento para los materiales tradicionales (por ejemplo, asfaltadoras, martillos neumáticos, compresores, camiones, apisonadoras, hormigoneras, mano de obra capacitada, etc.), que no guardan proporción con la poca importancia de las reparaciones necesarias, es un factor que contribuye a impedir la ejecución adecuada de este tipo de mantenimiento preventivo.

53. Afortunadamente esta situación no ha escapado a la atención de la industria, que durante el último decenio ha elaborado un material muy útil que constituye una solución técnicamente eficaz y a la par económica del problema. Ese material se llama Instant Road Repair (IRR) (reparador instantáneo de carreteras) y su función corresponde exactamente a su nombre. Además, el IRR se ha utilizado con mucho éxito para suprimir las diferencias de nivel causadas por las diferencias de asiento entre el pavimento y otras estructuras más rígidas, como los registros o pozos de visita.

54. Hoy el IRR se ha aplicado con éxito en todo el mundo y, considerando además, la experiencia positiva que ha tenido uno de los autores en la utilización del reparador instantáneo de carreteras Emcol durante más de diez años en los puertos de Limassol y Larnaca en Chipre, se estima que ha llegado el momento de divulgar y compartir esta experiencia con otros responsables de la gestión de pavimentos en las terminales de contenedores.

55. Las características técnicas y de otra índole del IRR y el método normal de reparación de baches y otros desperfectos superficiales en los pavimentos, tanto de asfalto como de hormigón, utilizado en los puertos de Chipre se describen brevemente a continuación. Sin embargo, hay que señalar que la experiencia obtenida en Chipre ha sido exclusivamente con el reparador Emcol, y por ello la información que se da a continuación puede no ser total o parcialmente aplicable a otros tipos de IRR.

56. El IRR está destinado a la reparación inmediata y permanente de baches, depresiones y zonas con roturas en superficies de macadam alquitranado, asfalto y hormigón. El IRR se presenta en cubos o sacos de 25 kg, con una vida en almacén de 10 y 4 meses, respectivamente, y puede utilizarse inmediatamente, sin calentarlo ni mezclarlo, sin necesidad de un tratamiento previo de las zonas que han de repararse (picado, utilización de capas de ligazón, etc.) y sin necesidad de añadir nada al producto antes o después de la aplicación. No hace falta utilizar una apisonadora y el único material que se precisa es una pala y una escoba.

57. Al contrario de lo que sucede con los materiales corrientes las reparaciones con IRR pueden hacerse aunque la temperatura sea muy elevada (60°C) o muy baja (-40°C), y sin que importen la nieve, el hielo, la fuerte lluvia o la humedad. Por ello la preparación de las áreas que se han de reparar es mínima. Lo ideal es barrer el agua estancada, el aceite y los desechos. En muchos casos en que esto no ha sido posible, las reparaciones efectuadas siempre han resultado, no obstante, plenamente eficaces.

58. El IRR se vierte del envase en el hoyo, cualquiera que sea la dimensión, forma o profundidad de éste, hasta que rebose ligeramente y luego se apisona con la parte trasera de una pala o, si se prefiere, utilizando un pisón manual. Por lo general las reparaciones llevan unos tres minutos y los peatones o el tráfico más pesado (por ejemplo el equipo de manipulación de contenedores) pueden pasar por la zona reparada sin adherirse al firme, sin dejar marcas de neumáticos y sin que haya que reparar nada (véase la figura 18). Para la reparación de baches profundos se pueden utilizar áridos bien apisonados para llenar la cavidad y luego se vierte por encima el IRR.

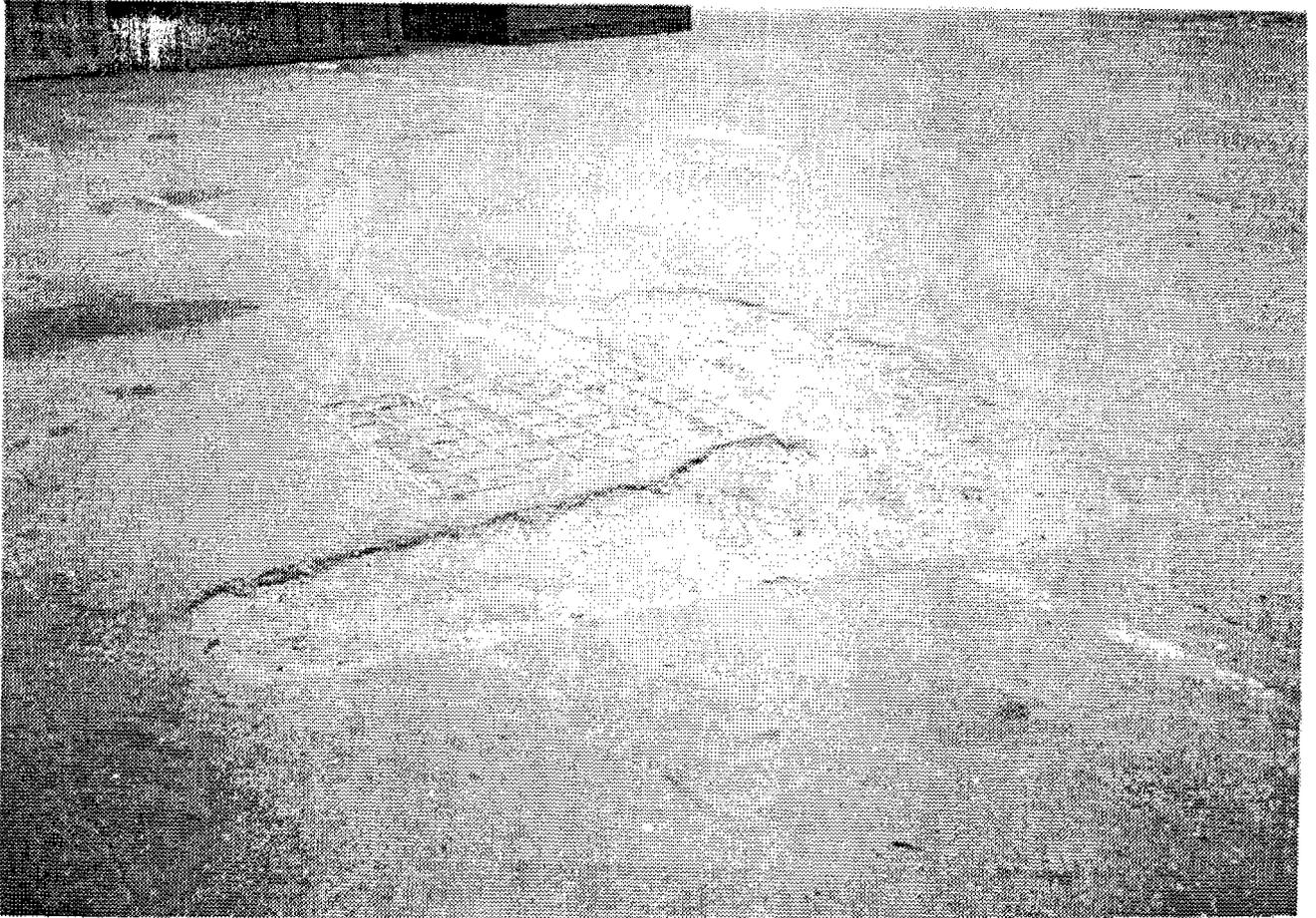
Figura 17

Desperfectos superficiales típicos en los pavimentos portuarios



Desperfectos causados por horquillas de carretillas elevadoras

Figura 17 (continuación)



Desperfectos alrededor de una tapa de registro

Figura 17 (continuación)



Desperfectos causados por el equipo pesado de manipulación de contenedores

59. La composición del producto le permite conservar su flexibilidad durante algunas horas una vez terminada la reparación y el endurecimiento se produce en parte por secado al aire y en parte por compactación. No queda ninguna depresión después de la reparación ni tampoco piedras sueltas, no se produce ninguna contracción del material, que se adhiere bien a las piezas metálicas, registros, etc. (véase la figura 19).

60. Se han visto reparaciones en zonas de grandes variaciones climáticas y un tráfico pesado constante que llevan ya diez años sin ningún deterioro. En la misma región los materiales de reparación del tipo tradicional se rompen en 24 horas y es preciso efectuar reparaciones varias veces al año.

61. El fabricante del IRR no pretende que el producto resista a los vertidos de combustible, pero informaciones de varias fuentes y la experiencia de Chipre indican que esa resistencia existe.

62. Para comparar los costos del IRR y los de los materiales de bacheo en caliente y en frío sería un error comparar sencillamente el precio por tonelada. Hay que efectuar una comparación global que tenga en cuenta el equipo necesario (martillo neumático, compresor, camión, apisonadora, luces de tráfico), el desperdicio de materiales, las horas de mano de obra, la duración de las reparaciones y las retenciones de tráfico, la interrupción de las operaciones portuarias y el hecho de que las zonas que haya que reparar serán menores. Se ha demostrado la posibilidad de realizar economías considerables utilizando IRR en lugar de los métodos convencionales.

#### B. Los geotextiles de nueva generación en las técnicas de recubrimiento

63. La necesidad observada en todo el mundo de reducir los enormes costos de reparación de pavimentos viejos ha llevado últimamente a la utilización de la nueva tecnología de los geotextiles en un nuevo sistema muy eficaz de recubrimiento que utiliza pavimentos asfálticos. El recubrimiento con asfalto para la prevención de la fisuración superficial de los pavimentos es hoy una importante aplicación de los geotextiles.

64. La formación de fisuras secundarias o la propagación vertical de las fisuras en la superficie de un pavimento asfáltico es fenómeno corriente. Esas fisuras normalmente se deben a la fatiga a la flexión, al envejecimiento natural de la superficie, como consecuencia de muchos factores ambientales, y a algunos otros mecanismos. Esas fisuras hacen que la superficie deje de ser impermeable lo que permite la penetración de la humedad y del agua de la lluvia, a través de la superficie fisurada, hasta la capa de asiento, lo que a su vez provoca una reducción de la resistencia al esfuerzo cortante del material de esa capa de asiento. El resultado es que se forman rodadas, grietas longitudinales concentradas en los pasillos de tráfico, baches y desperfectos causados por las heladas.

65. Si la superficie fisurada del pavimento se repara con un nuevo recubrimiento la fisuración de reflexión, es decir, la propagación de las fisuras del viejo pavimento a la nueva superficie, puede dar lugar a la formación de fisuras terciarias en la nueva capa superficial. Esas fisuras también son causadas por la influencia combinada de las tensiones debidas a la

temperatura y al tráfico y da lugar asimismo a la pérdida del poder impermeabilizante del revestimiento bituminoso y con ello a una nueva reducción de la resistencia al esfuerzo cortante del material de la base de asiento.

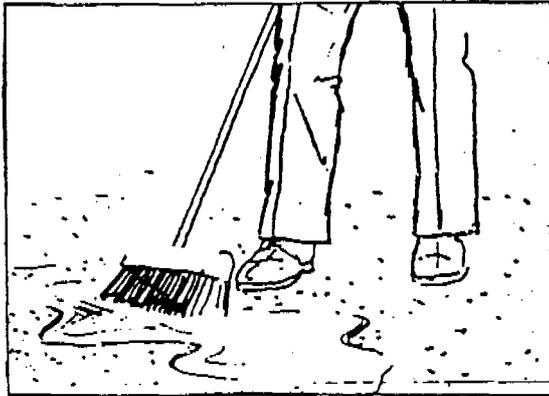
66. Esto ha ocurrido en los puertos de Larnaca y Limassol en Chipre, para los cuales uno de los autores es responsable del mantenimiento y la construcción, y donde durante muchos años el nuevo revestimiento de los viejos pavimentos asfálticos sólo ha sido una medida temporal, dado que las fisuras de las superficies viejas reaparecían en las nuevas superficies al cabo de unos meses, normalmente después del cambio de estación (véase la figura 20 a). Sin embargo, desde que se utiliza una membrana geotextil en los sistemas de recubrimiento aplicados para la renovación de los pavimentos viejos asfálticos en ambos puertos, el problema de la fisuración refleja ha quedado resuelto (véase la figura 20 b). En particular, en los casos antes mencionados se utilizó con excelentes resultados, como se ve en la figura 21, un geotextil de priopropileno no trenzado, agujereado, soldable e impregnado de asfalto, del tipo multifieltro PGM14.

67. Este tipo de geotextil, que es muy fácil de emplear (véase la figura 22) para prevenir la fisuración de reflexión en el recubrimiento asfáltico, cumple dos funciones principales: impermeabilizar y reforzar. Se considera que la propiedad impermeabilizante del geotextil multifieltro PGM 14 impregnado de asfalto, así como el aumento de la resistencia a la fatiga por flexión de los nuevos recubrimientos asfálticos en los puertos de Larnaca y Limassol son los factores determinantes de la prolongación de la vida útil de los actuales pavimentos asfálticos de esos puertos. Un período de observación de más de 12 años en la utilización práctica en otros casos permite deducir un factor empírico de incremento de la vida útil del pavimento que oscila entre 2 y 3.

Figura 18

Procedimiento de reparación instantánea de carreteras

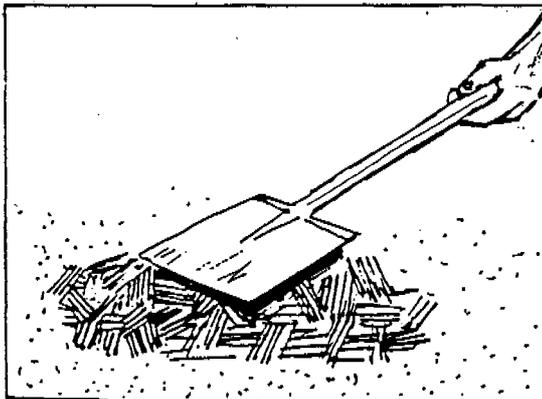
1. Barrer los desechos sueltos,  
el agua o el aceite



2. Rellenar hasta que rebose ligeramente  
toda la superficie de la cavidad



3. Apisonar con una pala  
o un pistón



4. La superficie puede ser utilizada  
inmediatamente por el tráfico más pesado

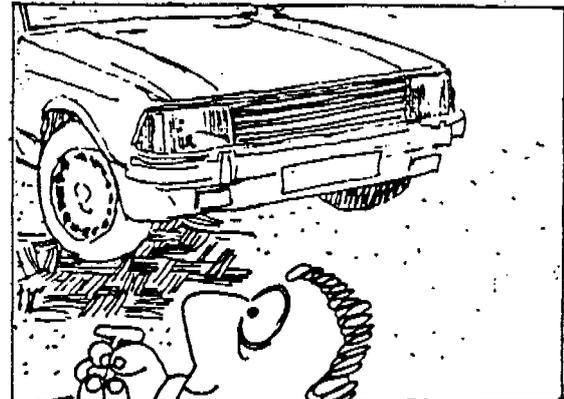
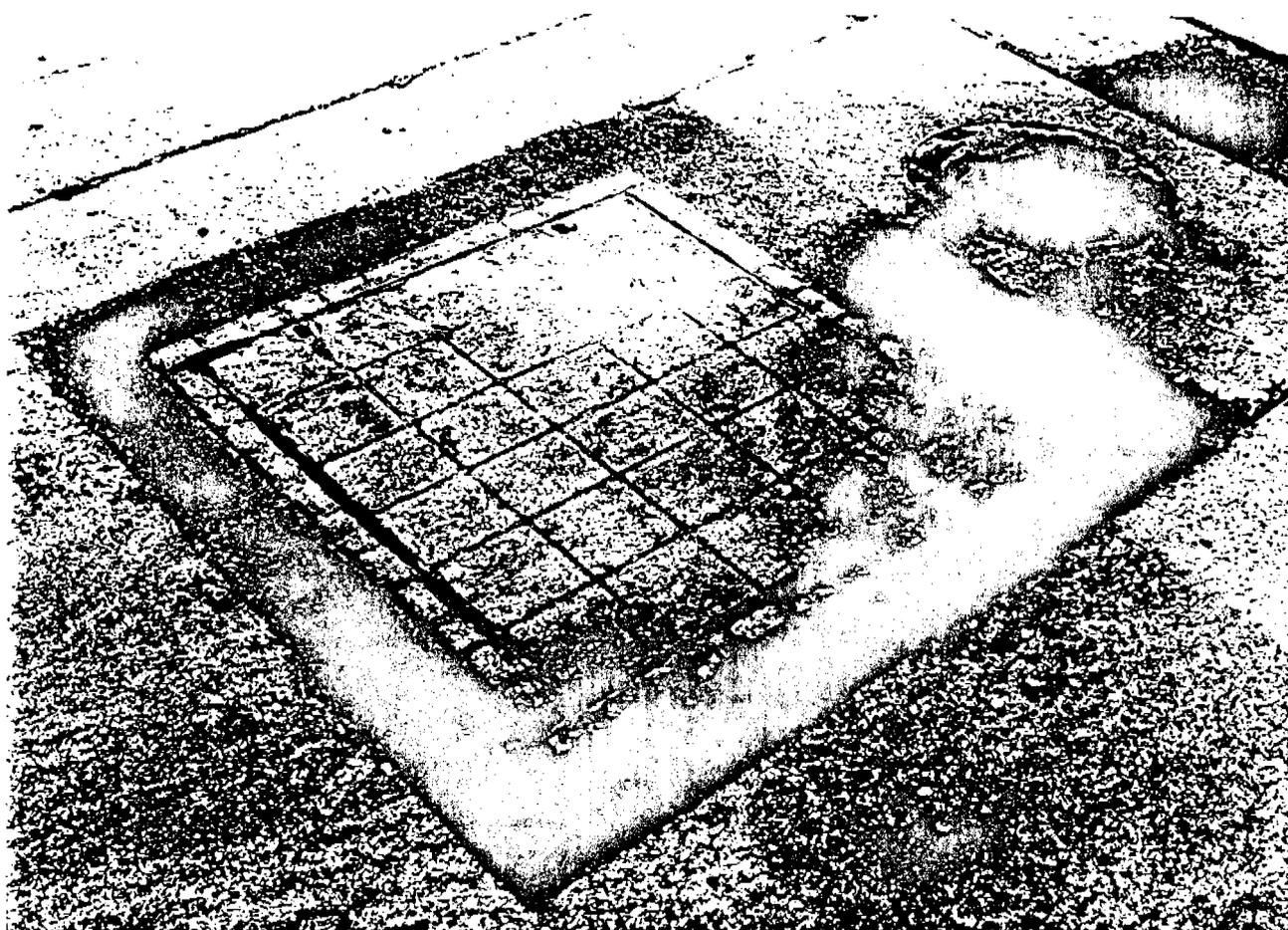


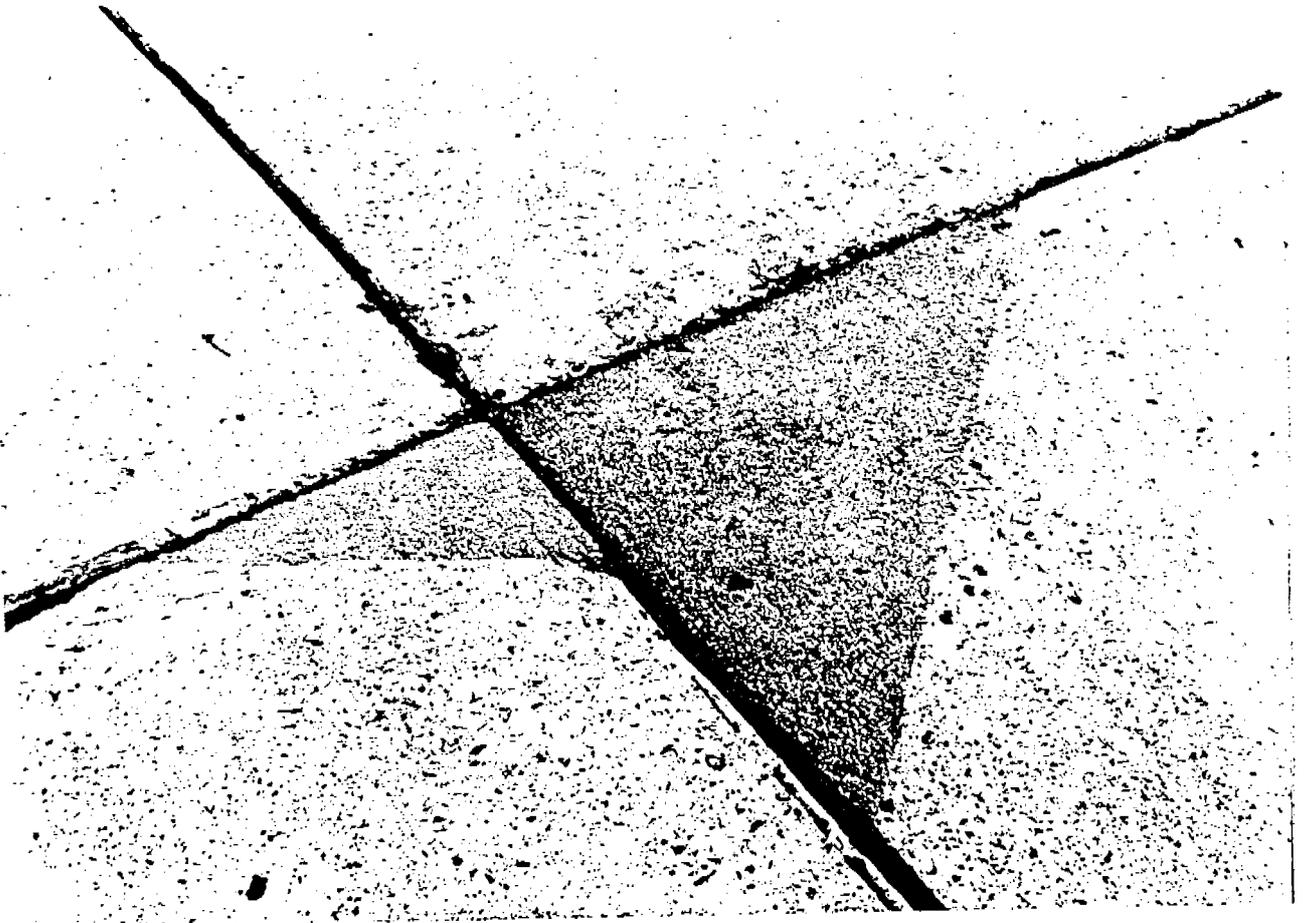
Figura 19

Ejemplos de reparaciones efectuadas con IRR



Pavimento asfáltico alrededor de tapas de registro

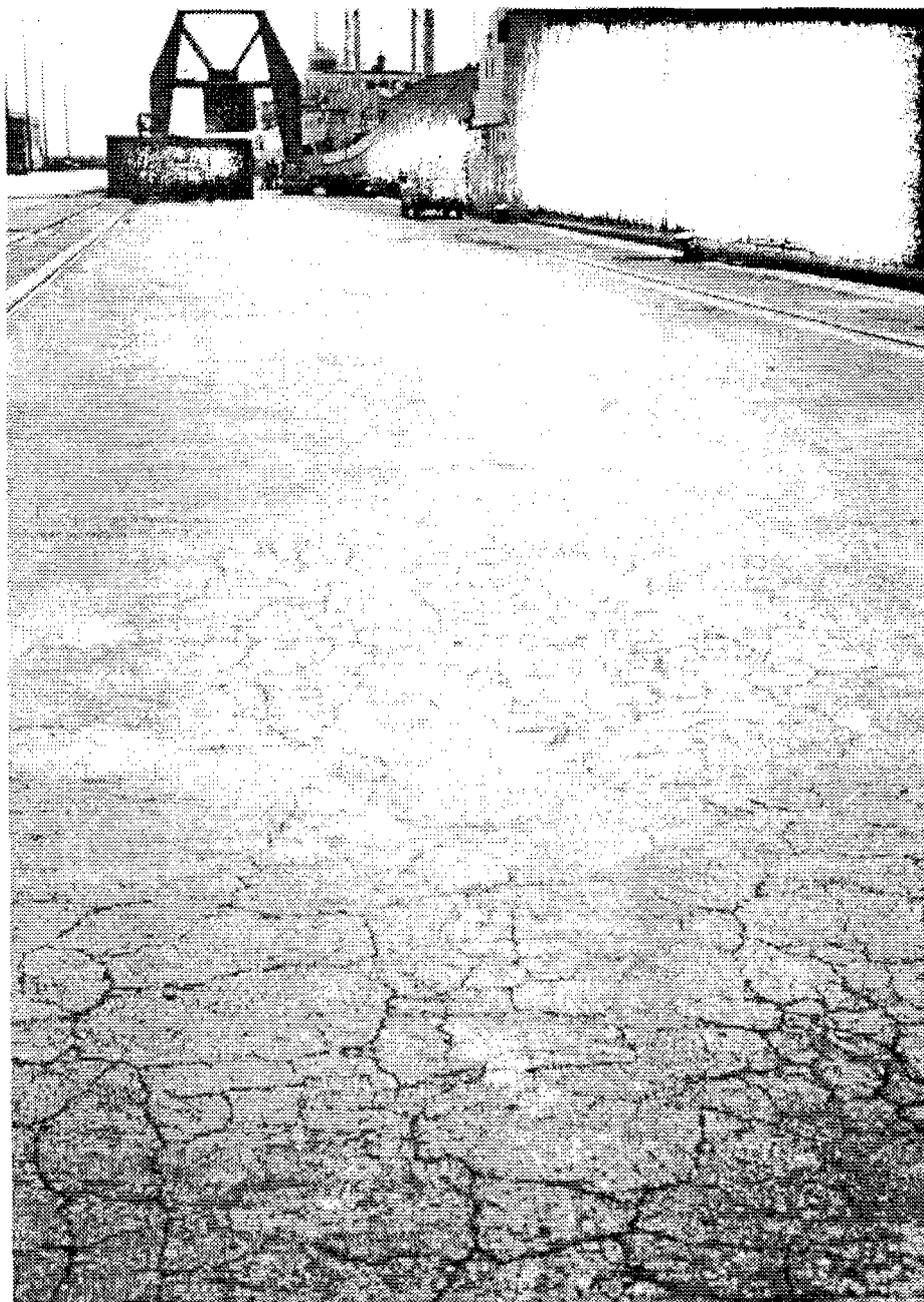
Figura 19 (continuación)



Esquinas de pavimento de hormigón

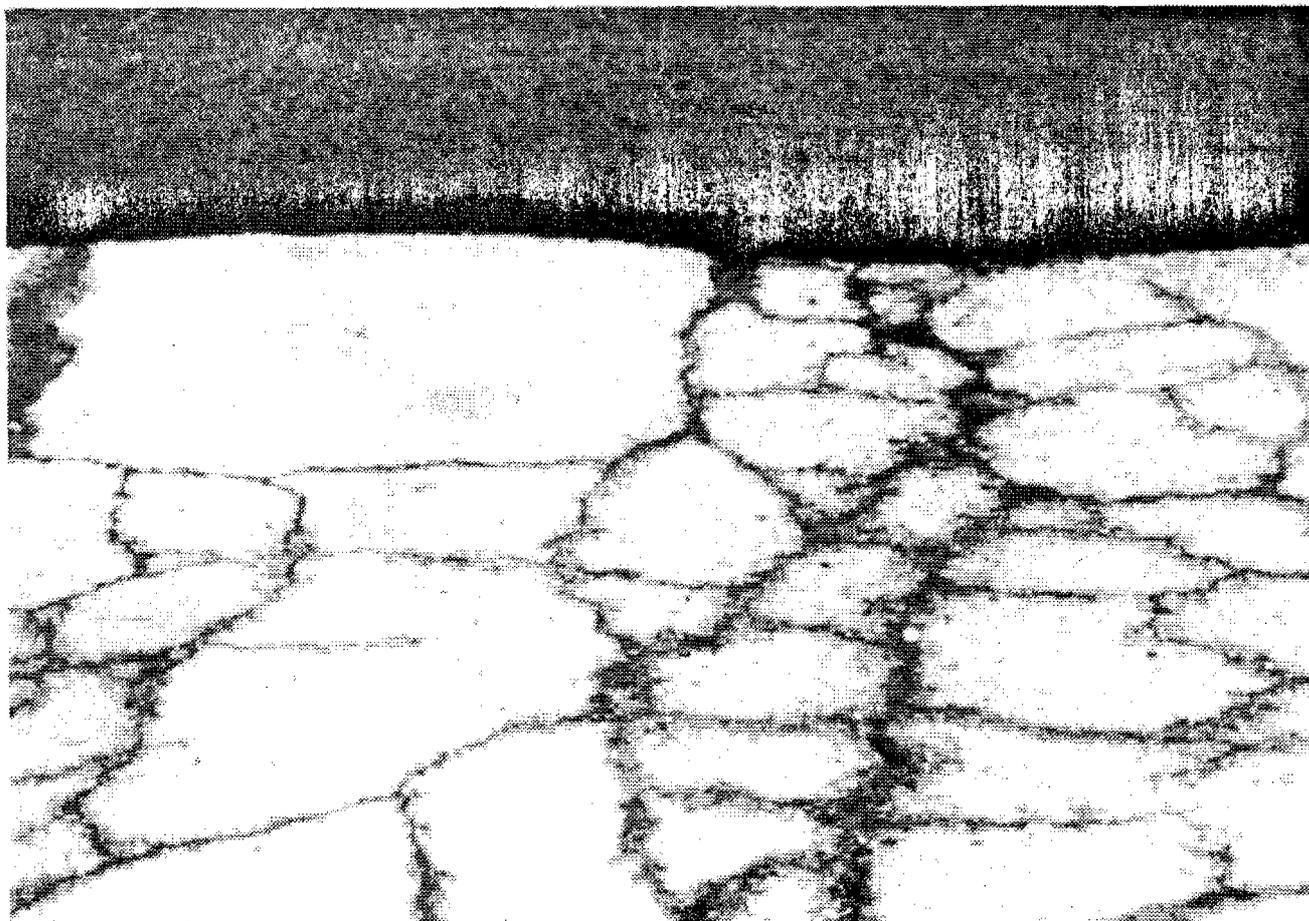
Figura 20

Ejemplos de duración del recubrimiento en el puerto de Larnaca



a) Seis meses después del nuevo recubrimiento  
sin la utilización de geotextiles

Figura 20 (continuación)



a) Seis meses después del nuevo recubrimiento  
sin la utilización de geotextiles

Figura 20 (continuación)



b) Cuatro años después del nuevo recubrimiento  
utilizando una membrana geotextil

Figura 20 (continuación)



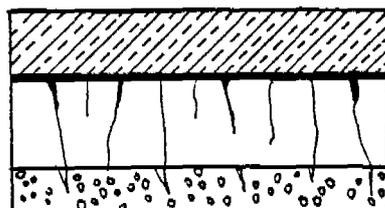
b) Cuatro años después del nuevo recubrimiento  
utilizando una membrana geotextil

Figura 21

Dos métodos de aplicación de recubrimientos asfálticos  
utilizados en los puertos de Limassol y Larnaca

Método 1:

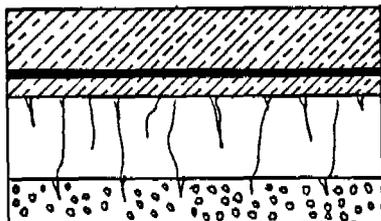
Para pavimentos de hormigón asfaltado con fisuras y alterado por los agentes atmosféricos



Pavimento nuevo  
Polifelt PGM 14  
Pavimento viejo  
Subsuelo

Método 2:

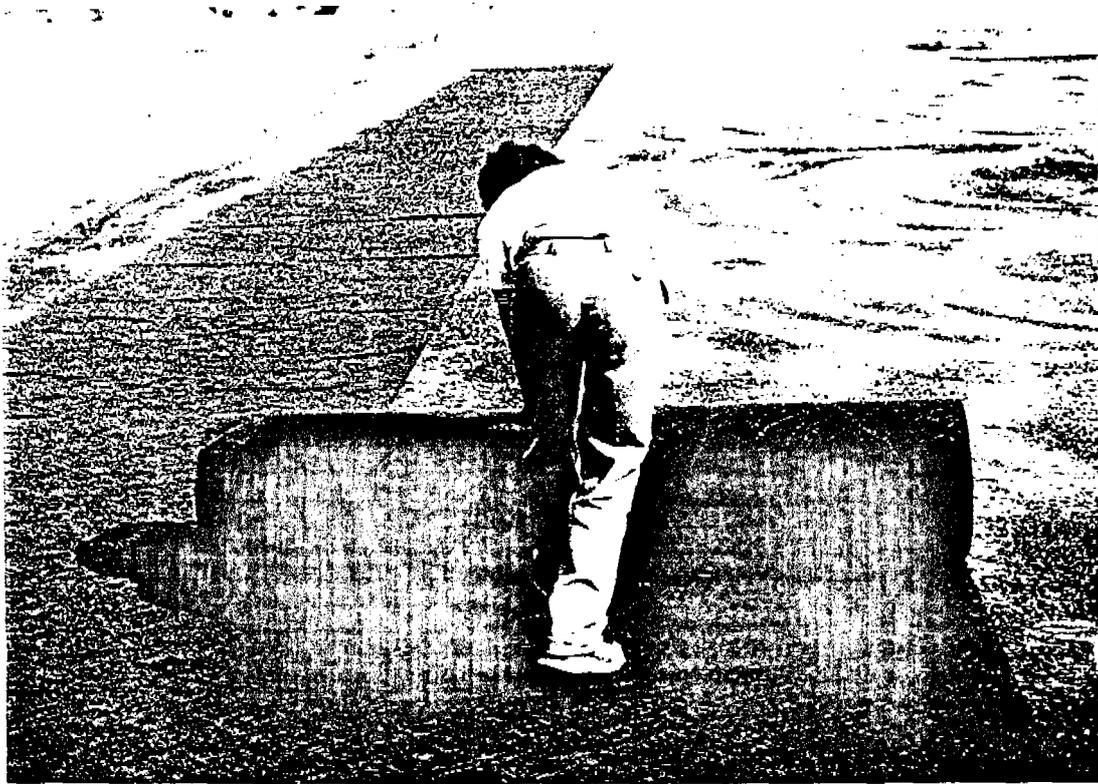
Para un pavimento de hormigón asfaltado muy fisurado y dislocado



Pavimento nuevo  
Polifelt PGM 14  
Capa de enrase  
Pavimento viejo  
Subsuelo

Figura 22

Aplicación de una membrana geotextil después de un  
riego de adherencia



## Capítulo IV

### MANUAL REVISADO DE DISEÑO DE PAVIMENTOS PORTUARIOS DE LA BPF

#### A. Introducción

68. La segunda edición del Manual de la British Ports Federation se publicó en 1989, después de haberse vendido la totalidad de la edición de 1984. Se aprovechó la ocasión para revisar la disposición de los gráficos de diseño de pavimentos e introducir varios cambios técnicos. Antes de explicar esas revisiones y cambios es importante poner de relieve la siguiente afirmación que figura en el prefacio de la edición de 1989 del Manual de la BPF: "La publicación de las Naciones Unidas titulada Gestión de pavimentos de terminales para contenedores es un complemento al presente Manual".

#### B. Presentación revisada de los gráficos de diseño

69. Con la revisión de la presentación de los gráficos de diseño se buscaba sobre todo reducir el tamaño del Manual sin sacrificar la precisión. Esto se ha logrado de cuatro maneras. En primer lugar, las dos curvas de deformación permisible se han quitado de cada gráfico y se han colocado en dos gráficos separados al principio del principal grupo de gráficos. Con esto se ha reducido el tamaño del Manual en un tercio.

70. Segundo, los gráficos se han impreso recto verso, con lo que el tamaño se reduce en la mitad. Tercero, los gráficos del "coeficiente de resistencia de California" (California Bearing Ratio's) de la base (CBR) del 2, el 4, el 6, el 7, el 15 y el 20% se han suprimido y sólo se han dejado los del 1, el 3, el 5, el 10 y el 30%. La experiencia demuestra que esto no da lugar a un error apreciable y así las dimensiones se reducen en más de la mitad. Cuarto, se han suprimido los gráficos para la sub-base de 150 mm de espesor, con lo que se ha ahorrado un 25%. En conjunto, con todos estos cambios el espesor del Manual es de 1/16 del espesor original, con lo que ahora se publica en rústica, formato A4. Otra ventaja es que baja considerablemente el precio.

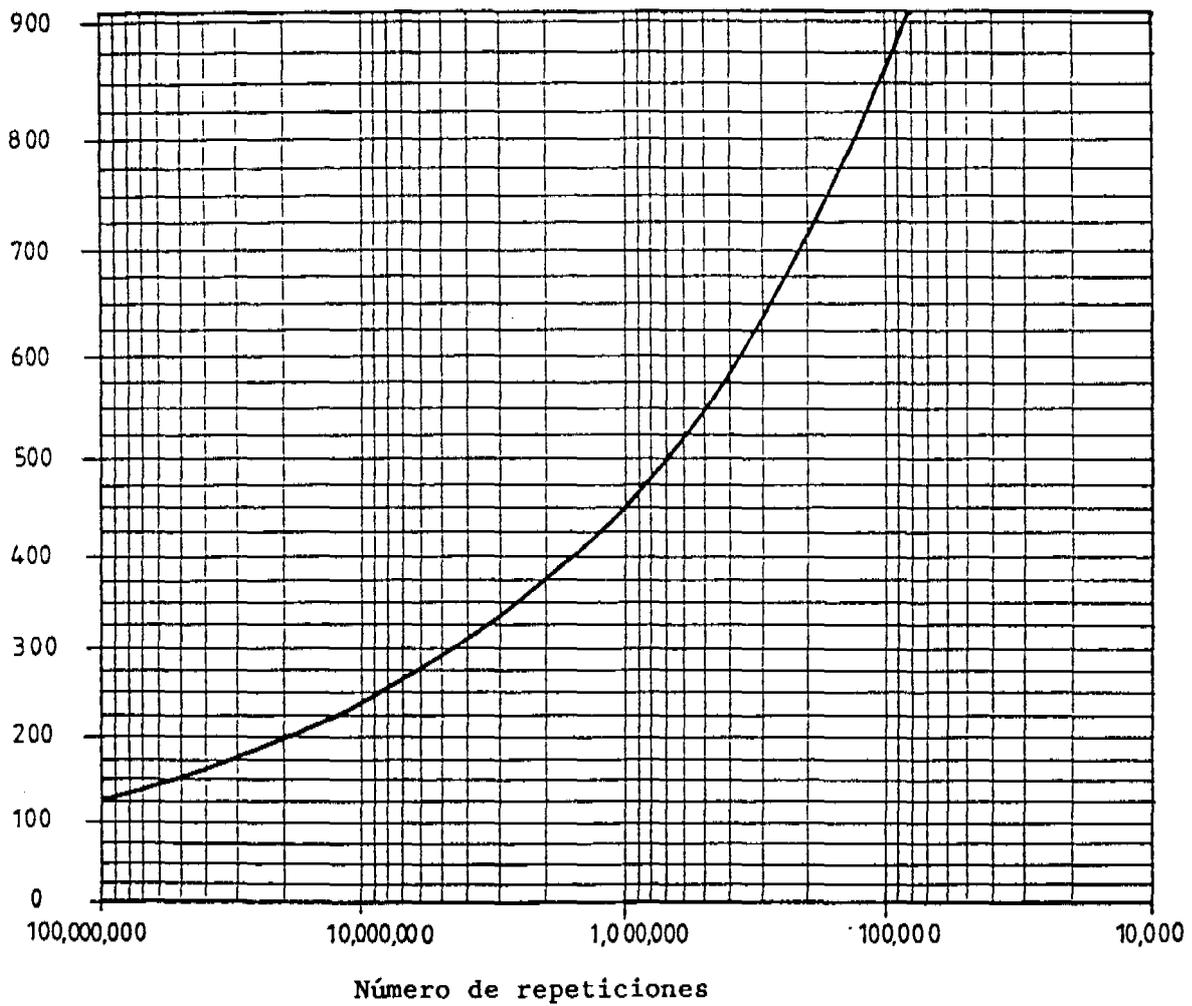
#### C. Cambios técnicos

71. Los cambios técnicos introducidos en la segunda edición del Manual de la BPF son, primero, la inclusión de gráficos de diseño para pavimentos totalmente flexibles con bases granulares. Esto se ha hecho porque el Manual se distribuye actualmente en los Estados Unidos, donde son corrientes los pavimentos industriales totalmente flexibles. Se ha incluido para el diseño de bases granulares un nuevo gráfico (véase la figura 23) que muestra la relación entre la deformación vertical a la compresión admisible y el número de repeticiones de carga para una base granular. El gráfico muestra, por ejemplo, que no puede permitirse que una base granular sujeta a un millón de repeticiones llegue a una deformación vertical por compresión de más de 450 microdeformaciones (0,00045 deformación). El procedimiento de diseño es el mismo que para las bases estabilizadas de cemento (hormigón pobre) y las losas de hormigón rígido, es decir, se utilizan los gráficos apropiados de índices de clasificación de carga (LCI) y de espesor de la base para obtener los valores correspondientes a cada caso. Para obtener el espesor necesario de la base granular en el gráfico correspondiente se ha incluido una línea

Figura 23

Deformación a la compresión admisible para bases granulares

Deformación  
vertical a  
la compresión  
(microdeformación)



horizontal especial que corresponde al módulo elástico del material granular, que se estima en 1.000 N/mm<sup>2</sup>. El Manual recomienda que cuando se utilice una base granular su CBR no sea inferior al 80%.

72. El segundo cambio se introdujo también pensando en los Estados Unidos y por eso se incluyen unidades imperiales junto con las unidades métricas. La American Association of Port Authorities distribuye el Manual en los Estados Unidos.

73. Un tercer cambio es la revisión del método de cálculo de los factores de proximidad de las ruedas para una maquinaria con ruedas yuxtapuestas, de modo que las tensiones creadas por una rueda influyen en las generadas por otra. En el Manual se utiliza una técnica por la cual la carga crítica directamente bajo una rueda puede aumentarse para tener en cuenta la tensión generada por una rueda próxima. En el Manual de 1984 esto se lograba mediante un factor de proximidad de las ruedas, que es un factor por el que se multiplica la carga de una sola rueda para tener en cuenta las ruedas próximas. La influencia de una rueda próxima depende no sólo de la importancia de la carga y de la proximidad de la rueda, sino también del espesor del pavimento diseñado, dado que el punto de interacción crítico se sitúa cerca de la cara inferior del pavimento. En el Manual revisado se toma en consideración por primera vez, el espesor del pavimento de modo que se puede evaluar de manera más precisa el factor de proximidad de las ruedas.

74. En primer lugar, hay que estimar el espesor final del pavimento antes de diseñarlo. La ecuación siguiente da un valor aproximado de la profundidad efectiva del pavimento desde su superficie a la cara inferior de la base. La profundidad efectiva es la profundidad de material de subsuelo que distribuiría la carga de manera análoga a la del pavimento real cuya construcción se proyecta. La ecuación es:

$$\text{Profundidad efectiva} = 300 \sqrt[3]{\frac{3.500}{\text{CBR} \times 10}}$$

75. Una vez obtenido este valor, el cuadro siguiente permite conocer el factor de proximidad.

Espaciamiento de las ruedas (mm)	Factor de proximidad para una profundidad efectiva de:		
	1.000 mm	2.000 mm	3.000 mm
300	1.82	1.95	1.98
600	1.47	1.82	1.91
900	1.19	1.65	1.82
1 200	1.02	1.47	1.71
1 800	1.00	1.19	1.47
2 400	1.00	1.02	1.27
3 600	1.00	1.00	1.02
4 800	1.00	1.00	1.00

Se pueden obtener valores intermedios por interpolación, tanto en el sentido vertical como en el sentido horizontal.

76. Por ejemplo, supongamos que una carretilla elevadora tiene tres ruedas en cada extremo de su eje delantero. La posición crítica estaría directamente bajo la rueda central. Si el espaciamento entre las ruedas es de 600 mm y se ha calculado que la profundidad efectiva es de 2.000 mm, el factor sería 1,82, que se aplicaría para cada una de las dos ruedas laterales. Suponiendo que sobre cada una de las tres ruedas la carga fuera de 10.000 kg, la carga única equivalente sobre una rueda sería:

$$10.000 + 8.200 + 8.200 \text{ kg} = 26.400 \text{ kg}$$

Hay que señalar que el resultado es inferior en un 12% al que se obtendría si toda la carga fuera transmitida por una sola rueda.

77. Un cuarto cambio es la introducción de un nuevo material compuesto para el diseño y construcción de pavimentos de puertos, el hormigón armado con fibras de acero, que se ha descrito en la sección C del capítulo II de este documento. Ese tipo de hormigón, que gracias a las fibras tiene una capacidad de deformación por tensión superior a la del hormigón rígido pero que conserva un módulo de elasticidad constante, permite utilizar losas más delgadas. Lo mismo que el gráfico C del Manual (véase la figura 23) permite al usuario determinar la deformación límite para bases granulares, el gráfico B del Manual (véase la figura 24) muestra la deformación radial a la tracción permisible en microdeformación para el hormigón de tipo corriente y para el hormigón armado con fibras de acero. Se aplica a fibras de acero galvanizado con una resistencia mínima a la tracción de  $1000 \text{ N/mm}^2$  y con ganchos en los extremos de las fibras para evitar la pérdida de adherencia con el hormigón. Según la información proporcionada por algunas pruebas efectuadas por los fabricantes de esas fibras, el Manual supone que la deformación por tracción radial puede multiplicarse por un factor de 1,75. Sin embargo, como se indica en el capítulo 1.8.4.3 del Manual, en todos los casos es preciso examinar con el ingeniero consultor o el fabricante de las fibras las características del hormigón armado con fibras.

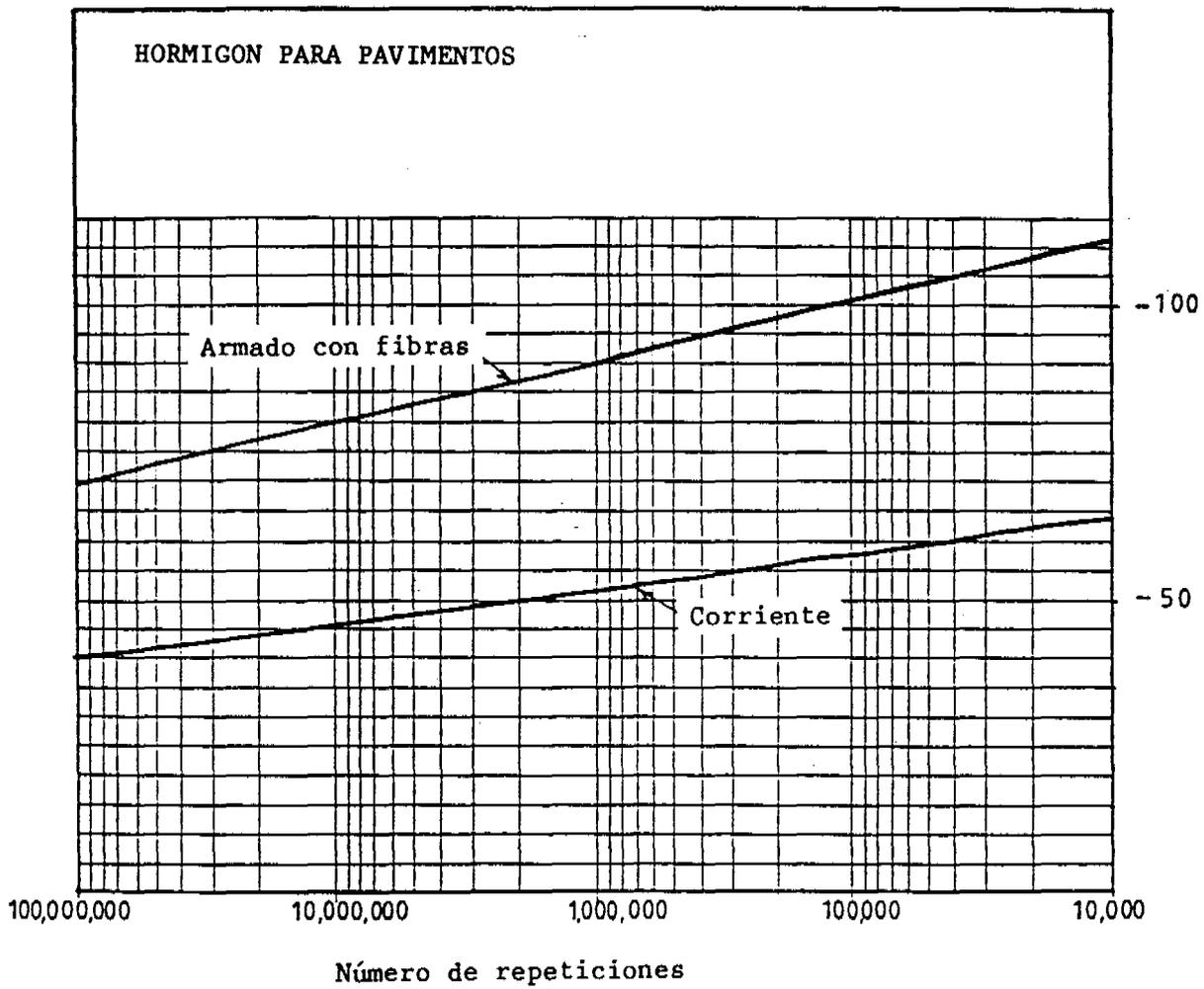
78. Siendo tantas las variables (por ejemplo, el material, el tamaño, la forma, la proporción de fibras, etc.) resulta imposible normalizar los parámetros de diseño y utilizar un gráfico único. En consecuencia, los ingenieros que diseñen pavimentos de puertos deben saber que hay casos en los que el hormigón armado con fibras de acero dará resultados superiores o inferiores, (es decir, que habrá que utilizar losas más delgadas o más gruesas) a los que se indican en el gráfico de deformaciones que figura en el Manual (véase la figura 24). Hay que insistir en que para comparar dos diseños de pavimentos, es decir, uno con hormigón tradicional y otro con hormigón armado con fibras de acero, no sólo hay que considerar las diferencias de espesor del pavimento sino también todas las ventajas adicionales (por ejemplo, mayor rigidez, resistencia a los golpes, ductilidad, etc.) del hormigón con fibras de acero, ventajas que se describen en la sección 3 del capítulo II de este documento.

79. Por último, se ha introducido un sistema simplificado de Índice de Clasificación de Carga (ICC) que reduce el número de cálculos necesarios para categorizar los daños que causa la maquinaria a los pavimentos. Quizás esta simplificación del procedimiento para evaluar los daños causados por la

Figura 24

Deformación por tracción admisible para las losas de hormigón rígido

Deformación por  
tracción radial  
(microdeformación)



maquinaria sea la revisión más importante de todas. Estos últimos años la experiencia ha demostrado que la maquinaria de manipulación causa mayores daños cuando manipula contenedores de 20.000, 21.000, 22.0000 ó 23.000 kg, y hay que recordar que los daños mayores corresponden a una combinación de peso y número de repeticiones, de modo que la manipulación ocasional de un contenedor de más de 23.000 kg causa menos daños al pavimento que muchos contenedores de los cuatro pesos indicados. Esto se ilustra mediante un ejemplo que se presenta en el capítulo 3.1. del Manual.

---

---

### كيفية الحصول على منشورات الأمم المتحدة

يمكن الحصول على منشورات الأمم المتحدة من المكتبات ودور التوزيع في جميع أنحاء العالم. استلم عنها من المكتبة التي تتعامل معها أو اكتب إلى: الأمم المتحدة، قسم البيع في نيويورك أو في جنيف.

#### 如何购取联合国出版物

联合国出版物在全世界各地的书店和经销处均有发售。请向书店询问或写信到纽约或日内瓦的联合国销售组。

#### HOW TO OBTAIN UNITED NATIONS PUBLICATIONS

United Nations publications may be obtained from bookstores and distributors throughout the world. Consult your bookstore or write to: United Nations, Sales Section, New York or Geneva.

#### COMMENT SE PROCURER LES PUBLICATIONS DES NATIONS UNIES

Les publications des Nations Unies sont en vente dans les librairies et les agences dépositaires du monde entier. Informez-vous auprès de votre libraire ou adressez-vous à : Nations Unies, Section des ventes, New York ou Genève.

#### КАК ПОЛУЧИТЬ ИЗДАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

Издания Организации Объединенных Наций можно купить в книжных магазинах и агентствах во всех районах мира. Наводите справки об изданиях в вашем книжном магазине или пишите по адресу: Организация Объединенных Наций, Секция по продаже изданий, Нью-Йорк или Женева.

#### CÓMO CONSEGUIR PUBLICACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS

Las publicaciones de las Naciones Unidas están en venta en librerías y casas distribuidoras en todas partes del mundo. Consulte a su librero o diríjase a: Naciones Unidas, Sección de Ventas, Nueva York o Ginebra.

---