

UNCTAD MONOGRAFÍAS SOBRE GESTIÓN DE PUERTOS



NAACIONES UNIDAS
1987

ESPAÑOL
Original: INGLÉS
ARABE, ESPAÑOL, FRANCES
E INGLÉS SOLAMENTE

Monografías de la UNCTAD sobre gestión de puertos

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

Monografía N° 5

GESTION DE PAVIMENTOS DE TERMINALES PARA CONTENEDORES

por

Marios Meletiou
B.Sc. (Tech), Honours, M.Sc.

Ingeniero civil superior - Jefe de la Sección de Ingeniería Civil
DIRECCION DE PUERTOS DE CHIPRE

y

John Knapton
B.Sc., Ph.D., Eng., MICE, MIHT, FFB

Asociado,

Nigel Nixon, Knapton and Partners

UNCTAD/SHIP/494 (5)

GE.87-55227/5966S

Otras monografías de esta serie

- N° 1 Paso del régimen de jornada diurna y horas extraordinarias al trabajo en dos turnos
- N° 2 Planificación de la utilización de los terrenos en las zonas portuarias: aprovechamiento máximo de la infraestructura portuaria
- N° 3 Medidas para el mantenimiento eficaz del equipo
- N° 4 Planificación de operaciones en los puertos

Las opiniones expresadas en esta monografía son las del autor y no corresponden necesariamente a las de la secretaría de la UNCTAD.

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 secretaría 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 prestado 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) - iii)	1
I. INTRODUCCION	1 - 13	2
1. Examen general	1 - 7	2
2. Creciente importancia de los pavimentos de las terminales para contenedores	8 - 13	3
II. SELECCION DE UN TIPO DE PAVIMENTO APROPIADO	14 - 89	6
1. Examen general	14 - 17	6
2. Método de selección de pavimentos	18 - 34	6
2.1. Introducción	18 - 20	6
2.2. Método tradicional	21 - 24	7
2.3. Método recomendado	25 - 34	8
3. Relaciones entre el equipo de manipulación de la terminal para contenedores y los pavimentos	35 - 89	12
3.1. Introducción	35 - 36	12
3.2. Evolución reciente del equipo de manipulación de contenedores	37	12
3.3. Equipo que impone cargas a las superficies de las terminales	38 - 53	12
3.4. Clasificación de los pavimentos	54 - 55	21
3.5. Factores que determinan la selección del tipo de pavimento	56 - 57	21
3.6. Opciones existentes para el pavimento de una terminal para contenedores	58 - 89	22
3.6.1. Superficies bituminosas o asfálticas	62 - 64	28
3.6.2. Hormigón fabricado sobre el terreno	65	29
3.6.3. Plataformas de hormigón premoldeado	66 - 68	29
3.6.4. Adoquines de pavimentación de hormigón	69	34
3.6.5. Formas de pavimento para grandes cargas	70 - 71	35
3.6.6. Lechos de grava	72 - 84	35
3.6.7. Sistemas combinados	85 - 89	44

INDICE (continuación)

<u>Capítulo</u>		<u>Párrafos</u>	<u>Página</u>
III.	DISEÑO DE PAVIMENTOS DE TERMINALES PARA CONTENEDORES DE GRANDES CARGAS	90 - 127	47
1.	Introducción	90 - 91	47
2.	Principios de diseño	92 - 96	47
3.	Técnica de análisis	97 - 99	50
4.	Propiedades de los materiales	100 - 101	53
5.	Estimación de la carga aplicada	102 - 109	53
	5.1. Cargas de ruedas muy pesadas	104 - 105	53
	5.2. Funcionamiento en zonas anchas	106	54
	5.3. Dinámica pesada	107 - 108	55
	5.4. Amplia variedad de tipos y tamaños de equipo	109	55
6.	Cálculo de la vida prevista de un pavimento .	110 - 114	56
7.	Utilización de los gráficos de diseño	115 - 122	57
8.	Pendientes de la superficie	123 - 125	58
9.	Prestación de servicios subterráneos	126 - 127	61
IV.	VIGILANCIA REGULAR DE LOS PAVIMENTOS	128 - 137	63
V.	MANTENIMIENTO, REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE PAVIMENTOS	138 - 151	67
VI.	CONCLUSIONES	152 - 157	71

RESUMEN

i) La presente monografía se ha escrito con objeto de iniciar a los encargados de los pavimentos de los puertos en el concepto de la gestión de pavimentos. Esa gestión comprende muchas funciones relacionadas entre sí, desde el diseño conceptual hasta la rehabilitación o la demolición. Esencialmente, es importante que el administrador comprenda las relaciones existentes entre todos los factores que influyen en el sistema de pavimentación, a fin de que pueda llegar a una solución óptima desde el punto de vista global. Sólo de esa forma logrará, a su vez, que los gastos generales de las instalaciones portuarias se mantengan tan bajos como sea posible. El pavimento tiene gran influencia en los gastos generales producidos por la infraestructura portuaria. En consecuencia, la optimización de los costos del pavimento es hoy de la máxima importancia.

ii) Este documento no pretende ser un manual de diseño pero, cuando se requieren datos concretos, se dan referencias. En particular, se menciona frecuentemente la publicación de la British Ports Association, "The Structural Design of Heavy Duty Pavements for Ports and Other Industries", citada como manual de la BPA.

iii) Los autores, Marios Meletiou, ingeniero de puertos, y el Dr. John Knapton, ingeniero consultor, tienen experiencia en pavimentos portuarios de todo el mundo.

Capítulo I

INTRODUCCION

1. Examen general

1. Con una gestión adecuada, se puede hacer que todo pavimento, tanto existente como de nueva construcción, desempeñe un papel eficaz como sistema de pavimentación de una terminal para contenedores.

2. La historia enseña que un sistema de esa clase debe tratarse como entidad distinta del diseño y construcción tradicionales de pavimentos. Durante el período del inmenso crecimiento del comercio de contenedores en el decenio de 1970, muchos puertos que entraron valientemente en el escenario de la manipulación de contenedores se encontraron con lo que sólo puede calificarse de problemas catastróficos en relación con los sistemas de pavimentación. Las superficies portuarias existentes, al ser utilizadas para las operaciones con contenedores, sufrían graves daños. Lo mismo ocurrió con muchas superficies nuevas, supuestamente construidas teniendo muy en cuenta las grandes exigencias de la manipulación de contenedores. Por otra parte, aunque se dispone de tecnología y conocimientos especializados mucho mayores para resolver esos problemas principales y otros de menor importancia relacionados con la pavimentación, siguen existiendo problemas en muchos puertos, tanto del mundo en desarrollo como del mundo desarrollado.

3. Sin embargo, como ocurre con otras esferas tradicionalmente problemáticas de la ingeniería, el diseño acertado de un pavimento nuevo o el mejoramiento de una superficie ya existente para las operaciones de manipulación de contenedores dependen básicamente de un enfoque adecuado de la gestión. De hecho, pueden determinarse una serie de medidas y actuaciones que representan lo que puede llamarse "gestión de pavimentos de terminales para contenedores", una doctrina o unos principios básicos que ofrecen "remedios" para muchos de los viejos "males".

4. El objetivo de la presente monografía es examinar brevemente todo el espectro de medidas y actuaciones que acompañan a la "gestión de pavimentos de terminales para contenedores". Sin embargo, antes de hacerlo, es esencial definir claramente el concepto de pavimento.

5. Se puede definir el pavimento como una o más capas de materiales seleccionados, construidas sobre un suelo natural a fin de que puedan desarrollarse actividades que no pueden desarrollarse en un suelo natural. En particular, si se utilizan suelos naturales con equipo de manipulación pesado, esos suelos se deforman, de modo que se producen surcos y baches.

6. Además, a fin de poder trabajar con cualquier tiempo, los pavimentos deben ser drenados, ya sea dejando que el agua se filtre a través de ellos (por ejemplo, en el caso de los lechos de grava) o, más corrientemente, facilitando el paso del agua a un sistema de drenaje.

7. Un pavimento debe cumplir sus objetivos de carga y drenaje durante un período considerable, que puede ser hasta de 25 años.

2. Creciente importancia de los pavimentos de las terminales para contenedores

8. Una terminal para contenedores moderna requiere zonas extensas de pavimento para apilar y desplazar los contenedores, y la creación de esas zonas resulta a menudo una de las partidas de costos de capital más altas que tiene que soportar un puerto. En ocasiones, el costo atribuible a los trabajos de construcción de superficies de las terminales puede elevarse al 25% de la inversión total cuando se trata de una terminal para contenedores. Por otra parte, esas superficies son de mantenimiento costoso si no se diseñan adecuadamente, y su reconstrucción suele ser a la vez larga e incómoda. Con toda seguridad, la creación de pavimentos inadecuados tendrá, antes o después, repercusiones perjudiciales en las operaciones de las terminales. En consecuencia, la superficie de una terminal para contenedores debe ser tan sólida y fiable como los muelles, las grúas, la energía eléctrica, etc.

9. Además, las consecuencias financieras de los errores en la elección y el diseño del pavimento pueden ser grandes. Si el pavimento ha sido diseñado por defecto, puede resultar inutilizable muy rápidamente, y los costos de reparación consiguientes pueden ser mayores que los costos originales de construcción. Si el pavimento se ha diseñado por exceso, habrá un capital innecesariamente atado a él, lo que inhibirá otros desarrollos.

10. En los países en desarrollo, en donde los proyectos se ejecutan normalmente con asistencia de préstamos exteriores, cualquier posible ahorro en los costos de construcción que no afecte a la integridad del enfoque de construcción del diseño es de fundamental importancia, ya que ayudará a lograr una asignación más productiva de unos recursos que son limitados.

11. Brevemente, las razones que produjeron el aumento de la importancia de los pavimentos en las terminales para contenedores fueron las siguientes:

- a) Las superficies se han hecho mayores a causa del aumento de la utilización de contenedores;
- b) Las cargas son más pesadas y hay una gama más amplia de sistemas de manipulación disponibles, de diferentes efectos perjudiciales en los pavimentos;
- c) Ha aumentado la conciencia de los costos (debido a la necesidad de pavimentos más firmes y, por consiguiente, más costosos);
- d) Varios hundimientos importantes de pavimentos en los últimos años, que produjeron graves problemas de manipulación de contenedores, han creado una conciencia de la importancia de los pavimentos;
- e) Hay mayor libertad para elegir materiales: esto se debe a la reciente evolución de los métodos y los materiales de construcción de pavimentos.

12. Así pues, el aumento de la importancia de los pavimentos de las terminales para contenedores determina la necesidad del concepto de "gestión de pavimentos".

La gestión de pavimentos comprende lo siguiente:

- a) Selección de un tipo de pavimento apropiado;
- b) Diseño económico;
- c) Vigilancia regular;
- d) Mantenimiento o rehabilitación rentables;
- e) Mejoramiento o demolición de pavimentos.

13. En los capítulos que siguen se examinan brevemente esos cinco componentes de la "gestión de pavimentos".



Fallo del pavimento bituminoso en los pasillos estrechos que separan las pilas de contenedores, como consecuencia del movimiento canalizado de vehículos de pórtico alto. El pavimento se había diseñado para las cargas, menos pesadas, de la manipulación general de mercancías.



No es raro que pavimentos expresamente diseñados para la manipulación de contenedores cedan. Este pavimento de hormigón no reforzado tiene cuatro años.

Capítulo II

SELECCION DE UN TIPO DE PAVIMENTO APROPIADO

1. Examen general

14. El objeto principal de este capítulo es subrayar que la selección del equipo de manipulación de contenedores y de los materiales de construcción de pavimentos debe hacerse combinadamente, es decir, que resulta esencial seleccionar un sistema completo de manipulación de contenedores, y no cada elemento del sistema por separado.

15. Un sistema completo de manipulación de contenedores (sin incluir la documentación) comprende lo siguiente:

- a) Equipo;
- b) Trazado;
- c) Infraestructura (pavimentos);
- d) Servicios.

16. Los elementos a) y b), relacionados entre sí, determinan en gran parte el sistema de funcionamiento y, por consiguiente, la eficiencia de la terminal. Sin embargo, una buena selección del tipo adecuado de equipo, combinada con una buena selección de los materiales de pavimentación, aumentará sin lugar a dudas la eficiencia y el éxito de todo el sistema de manipulación de contenedores.

17. "Selección" significa básicamente elegir entre cierto número de posibilidades, según la preferencia individual. Esto implica un proceso de comparación de las posibilidades existentes. Sin embargo, en el caso de los sistemas de manipulación de contenedores, ¿cuáles son exactamente esas posibilidades?

2. Método de selección de pavimentos

2.1. Introducción

18. El método tradicional ha consistido en seleccionar primero el equipo de manipulación de contenedores, y diseñar luego un sistema de pavimentación capaz de soportar los daños producidos por el equipo seleccionado.

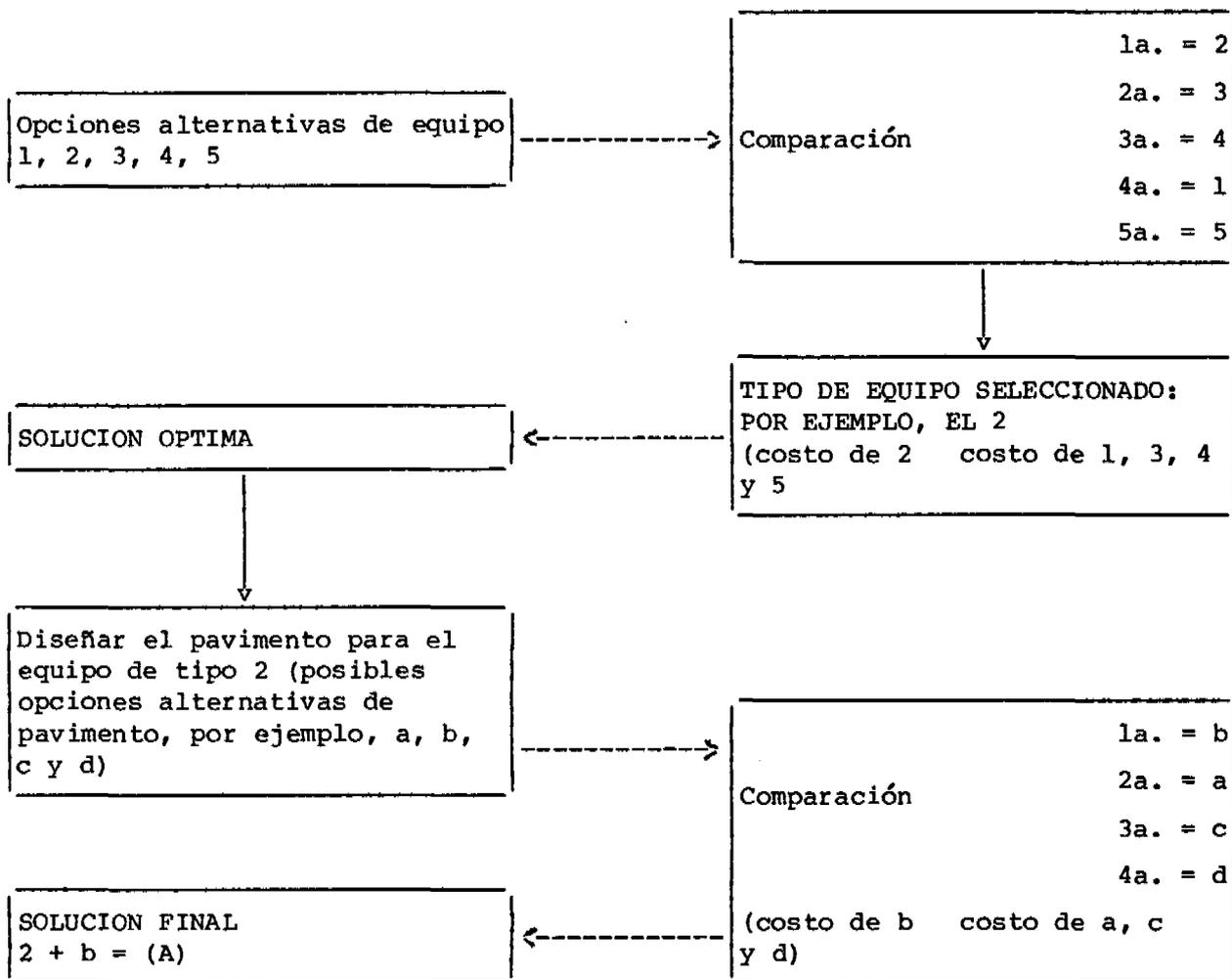
19. El método nuevo, que es el que se recomienda ahora, consiste en considerar paralelamente el equipo de manipulación de contenedores y el sistema de pavimentación.

20. Así, si se sigue el método tradicional, las posibilidades que hay que considerar son: en primer lugar, los tipos de equipo disponibles, y en segundo, los tipos de pavimento que podrían utilizarse con el tipo concreto de equipo seleccionado. No obstante, si se sigue el nuevo método recomendado, las posibilidades que hay que considerar son sistemas combinados de equipo y pavimentos.

2.2. Método tradicional

21. El diagrama que sigue ilustra, de forma sencilla, las medidas adoptadas para seleccionar el pavimento cuando se sigue el método tradicional.

Método tradicional



La solución (A) puede ser o no la solución óptima universal

22. En este método, una vez que se conoce el tipo de equipo que se empleará, el sistema de manipulación de contenedores queda determinado en gran parte. Es en esa etapa transitoria de todo el proceso cuando se piensa llegar a la "solución óptima", y los pasos siguientes del diagrama son simplemente complementarios del paso decisivo de la elección del equipo. El trabajo que sigue es sencillo y directo, ya que la comparación entre los diversos pavimentos posibles para el tipo determinado de equipo elegido tiene en cuenta una carga específica, un trazado idéntico y una superficie igual.

23. En consecuencia, al seguir el método tradicional, una vez que se sabe el tipo de equipo que se utilizará, el paso siguiente es ver qué tipos de pavimentos son compatibles con el equipo seleccionado y comparar sus costos. El cuadro de comparación de costos que sigue se refiere a los tipos de pavimentos más corrientes, pero para la misma carga y trazado e igual extensión superficial.

Cuadro 1

Comparación del costo de los tipos más comunes de pavimento

Costo de construcción	Costo de mantenimiento		
	Bajo	Intermedio	Alto
Bajo	Lechos de grava		
Intermedio	Adoquines de hormigón premoldeado	Asfalto	
Alto	Losas de hormigón fabricado sobre el terreno	Plataformas de hormigón premoldeado	
	Sistemas combinados	Sistemas combinados	

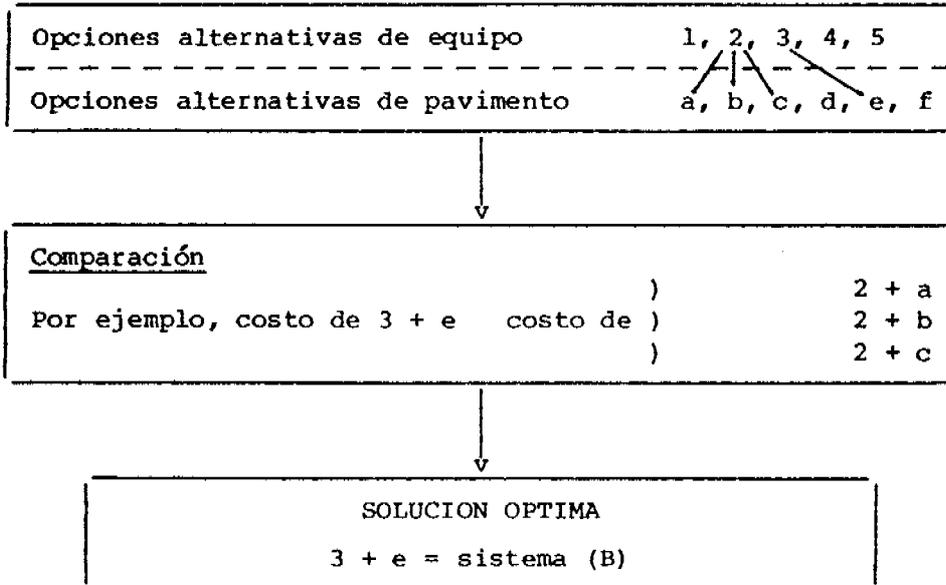
24. El cuadro que antecede es de carácter general, y no tiene en cuenta las condiciones locales típicas.

2.3. Método recomendado

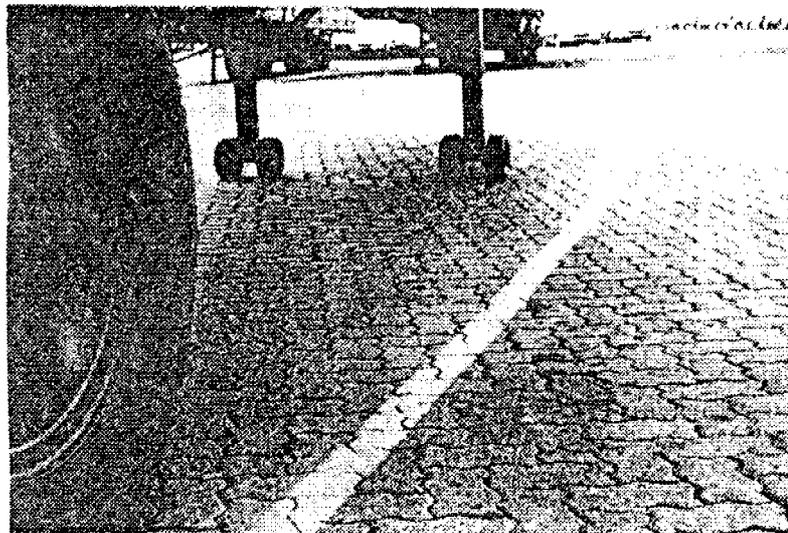
25. A diferencia del método tradicional, que implica la selección del equipo antes de elegir el pavimento, la selección de un sistema completo de manipulación de contenedores (es decir, cuando la selección de equipo y pavimento se hace en forma combinada), según el método recomendado, no es tarea sencilla. Por ejemplo, los trazados del pavimento y las zonas o cargas necesarios no son los mismos para todos los tipos de equipo.

26. En consecuencia, a pesar de que el diagrama del método recomendado parece muy sencillo, este proceso es más difícil y requiere un conocimiento más amplio de los aspectos tanto de funcionamiento como de ingeniería.

Método recomendado



27. Los parámetros que deben tenerse en cuenta no sólo aumentan en número sino que se hacen más complicados. Por esta razón, teniendo en cuenta la relación existente entre el equipo de manipulación de contenedores y los pavimentos, el costo de cada tipo de pavimento (costo de construcción y mantenimiento) y la experiencia obtenida del resultado en muchos casos de todo el mundo, se ha preparado el cuadro 2 como guía inicial para el diseñador de terminales para contenedores. De esa forma, el diseñador no tendrá que considerar todas las combinaciones posibles de pavimentos y equipo, sino que podrá ocuparse sólo de las dos o, quizá, tres que parezcan más prometedoras.



Solución recomendada para zonas de estacionamiento de remolques

Cuadro 2

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

(clave; 1 = Evítese en lo posible 10 = Solución recomendada)
5 = Solución razonable

Tipo de operación	Asfalto	Losas de hormigón fabricado sobre el terreno	Plataformas de hormigón	Adoquines de hormigón	Lechos de grava
Apilamiento de contenedores	1	3	1	7	10
Zonas de estacionamiento de remolques	2	7	6	8	--
Callejones de rodadura de los vehículos de pórtico alto, entre los contenedores	1	5	3	7	--
Zonas de apartado de los vehículos de pórtico alto	4	6	3	7	--
Zonas de apartado de los camiones de horquilla elevadora	2	6	2	8	--
Zonas de apartado de los vehículos de carretera	8	6	5	6	--
Zonas de trabajo de las grúas móviles	2	7	2	5	--
Grúas de apilamiento de patio	1	3	1	4	10
Zonas de mantenimiento	1	8	4	5	--

28. Un problema importante que se ha tenido en cuenta al preparar el cuadro 2 es el de las repercusiones que los trabajos de mantenimiento pueden tener en las operaciones de manipulación de contenedores. El diseñador de la terminal para contenedores puede tener la posibilidad de elegir entre sistemas de pavimentación de bajo costo de construcción que requieren un mantenimiento frecuente, costoso, o de ambas características, y sistemas de pavimentación de costo de construcción inicial elevado pero pocos requisitos de mantenimiento, tanto desde el punto de vista de los costos como del de la frecuencia. Unas operaciones de manipulación de contenedores ininterrumpida durante toda la

vida útil de un patio de contenedores, aunque sea el caso ideal, resultará un objetivo inalcanzable con la mayoría de los pavimentos, o con todos ellos.

29. La experiencia enseña que los requisitos de mantenimiento de un pavimento no dependen por completo de un diseño de ingeniería acertado o desacertado, sino también, en gran parte, de la naturaleza del pavimento mismo. En consecuencia, las interrupciones de funcionamiento debidas al mantenimiento podrán reducirse al mínimo mediante el proceso de selección del pavimento.

30. Hay algunos tipos de pavimento que, aunque se diseñen por exceso, requieren en algún momento un mantenimiento importante (por ejemplo, los asfálticos). En cambio, la experiencia reciente muestra que hay otros tipos de pavimentos cuyos requisitos mínimos de mantenimiento no se ven muy afectados aunque se diseñen por defecto (por ejemplo, los lechos de grava).

31. Teniendo en cuenta las opiniones dominantes de muchos explotadores de terminales para contenedores, la posición que se adopta en el cuadro 2 es que se debería dar más importancia a unas interrupciones mínimas del funcionamiento, ya que, a veces, pueden resultar muy costosas e incluso, hasta cierto punto, tener un efecto negativo en la reputación del puerto si su frecuencia es excesiva.

32. Es de señalar, sin embargo, que en algunos casos, a consecuencia de circunstancias específicas, la posición expuesta puede no ser la acertada. Un ejemplo es el caso de que la zona disponible para el apilamiento, por alguna razón, sea mucho mayor de lo que realmente se requiera, y se pueda realizar su mantenimiento escalonadamente, sin que éste afecte a la manipulación de los contenedores. Pero incluso así, en esos casos, el desplazamiento gradual de las operaciones de una parte a otra de la zona de apilamiento, a fin de facilitar los trabajos de mantenimiento, implicará inevitablemente cierta desviación de las operaciones diarias normales. Esto, a su vez, puede traducirse en costos. También deben ponerse en tela de juicio las razones de que exista una zona mayor que la realmente necesaria y los costos adicionales que ello entrañe. Lo expuesto conduce a la cuestión general de las condiciones locales existentes.

33. A este respecto, vale la pena subrayar que el diseñador de terminales para contenedores no debe tomar al pie de la letra las puntuaciones dadas a cada tipo de pavimento en el cuadro 2, sino considerarlas como punto de partida inicial. Esas puntuaciones son influidas por las condiciones locales existentes, a las que debe darse siempre la importancia apropiada. En consecuencia, cabe esperar que los sistemas de pavimentación que sólo difieren en uno o dos puntos según el cuadro 2 cambien de posición relativa en la lista de comparación como consecuencia de la existencia de condiciones locales extraordinarias.

34. Como se ha subrayado supra, la preparación de los criterios generales del cuadro 2 se ha basado, entre otras cosas, en la relación existente entre el equipo de la terminal para contenedores y los pavimentos. Este es el tema especialmente tratado en la parte siguiente del presente capítulo.

3. Relaciones entre el equipo de manipulación de la terminal para contenedores y los pavimentos

3.1. Introducción

35. La razón principal del deficiente rendimiento de muchos pavimentos de terminales para contenedores es que se han construido sobre la base de métodos tradicionales de diseño de pavimentos que desconocen por completo la estrecha relación existente entre el equipo de manipulación de contenedores y la superficie en que ese equipo trabaja. Del presente capítulo puede deducirse que hay que dar importancia especial a la compatibilidad entre los materiales de la superficie y el equipo de manipulación de contenedores que trabajará sobre ella. En la actualidad, esa es una consideración principal de costos y operaciones en todas las terminales de contenedores modernas y eficientes. Sin embargo, lamentablemente, por conservadurismo o por falta de adaptación a la evolución reciente en esa esfera, sigue habiendo tendencia en muchos casos a favorecer los métodos tradicionales de diseño y construcción. Inevitablemente, esos métodos de construcción de superficies resultan inapropiados para las operaciones de manipulación de contenedores, lo que produce, en muchas ocasiones, resultados catastróficos.

36. Hay muchas formas diferentes de construir pavimentos, cada una de ellas adecuada para un conjunto determinado de condiciones o simplemente preferida para un puerto concreto. Sin embargo, antes de hacer cualquier intento de armonizar el equipo de manipulación de contenedores con el sistema de pavimentación, es aconsejable considerar todas las opciones existentes en ambos aspectos.

3.2. Evolución reciente del equipo de manipulación de contenedores

37. Con la introducción de los contenedores, ha aparecido una nueva generación de equipo de manipulación, que presenta invariablemente características nuevas con respecto al equipo de manipulación tradicional de otros tipos de carga. Tal vez más que cualquier otro factor, las características adversas del propio peso y tamaño masivos de esa nueva generación de equipo han tenido un efecto perjudicial en la vida y el mantenimiento del pavimento. Esto se hizo evidente en muchos casos en que las zonas pavimentadas existentes, diseñadas para otras operaciones, se utilizaron ulteriormente como patios de contenedores.

3.3. Equipo que impone cargas a las superficies de las terminales

38. Con independencia de los propios contenedores, a continuación se indica la variedad de diferentes tipos de equipo que imponen cargas a las superficies de una terminal para contenedores:

- a) Remolques de terminal;
- b) Sistemas de remolques múltiples;
- c) Elevadores de horquilla;
- d) Cargadores frontales;

- e) Cargadores laterales;
- f) Vehículos de pórtico alto;
- g) Grúas de apilamiento de patio (sobre carriles o sobre neumáticos);
- h) Grúas móviles;
- i) Empacadores portuarios.

39. El cuadro 3 muestra las cargas sobre el pavimento de los contenedores apilados, que deben tenerse en cuenta al diseñar una nave de apilamiento de contenedores.

Cuadro 3

Cargas sobre el pavimento como consecuencia del apilamiento de contenedores

Apilamiento	Reducción del peso bruto (%)	Esfuerzo de contacto (N/mm ²)	Carga sobre el pavimento (kg) de cada disposición de apilamiento		
			Individual	Filas	Bloques
1	0	2.59	7 620	15 240	30 480
2	10	4.67	13 720	27 430	54 860
3	20	6.23	18 290	36 580	73 150
4	30	7.27	21 340	42 670	85 340
5	40	7.78	22 860	45 720	91 440

40. Sin embargo, diseñar un pavimento de una estación para contenedores por la que circule el equipo de manipulación de contenedores mencionado no es tarea fácil.

41. El daño, D, al pavimento, en función de la carga de las ruedas, W, y del esfuerzo de contacto (o presión de los neumáticos), P, viene dado por la expresión siguiente:

$$D \propto W^{3,75} \times P^{1,25}$$

42. Esta ecuación implica que el daño al pavimento es proporcional a la potencia 3,75 de la carga de las ruedas.

43. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre con el diseño de pavimentos de carreteras, en las zonas portuarias no se puede suponer que mayores cargas de las ruedas exigirán necesariamente superficies pavimentadas en general más firmes y, por consiguiente, más costosas. Esto se debe a que las características de funcionamiento de cada tipo de equipo desempeñan un papel determinante en el modo de enfocar el diseño del pavimento.

44. Por ejemplo, las cargas de las ruedas de las grúas de apilamiento de patio pueden ser a veces hasta de 48 toneladas, pero los vehículos de pórtico alto con las 8 ruedas usuales, que tienen una carga máxima de ruedas de 12,5 toneladas, o los elevadores de horquilla, de una carga máxima de ruedas de 22 toneladas, requieren, en general, un pavimento mucho más costoso que las grúas de apilamiento de patio.

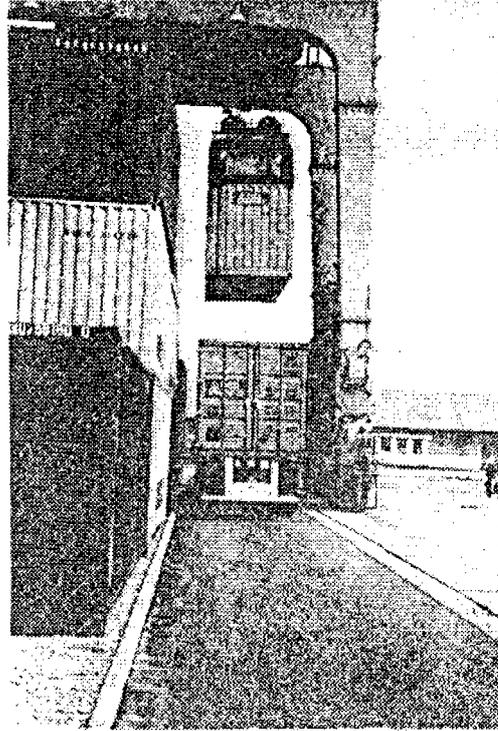
45. Las razones son las siguientes: el funcionamiento de las grúas de patio difiere, en muchos aspectos, del de los otros tipos de equipo de apilamiento de contenedores. Hay dos diferencias principales de funcionamiento que tienen repercusiones directas en los requisitos de diseño y construcción del pavimento sobre el que trabaja el equipo:

- a) Las grúas de patio se desplazan sólo sobre pistas definidas (pasillos, en el caso de las grúas de patio de neumáticos de caucho, o carriles, en el de las grúas de patio montadas sobre carriles). Esto significa que las grúas de patio nunca entran en las verdaderas zonas de apilamiento, a diferencia de lo que ocurre con otros tipos de equipo de apilamiento de contenedores, que tiene que desplazarse por todo el patio de contenedores,
- b) Las grúas de patio se desplazan casi siempre sin carga. (Ocasionalmente pueden desplazarse cargadas, a poca velocidad y cortas distancias, para desviar contenedores hacia filas adyacentes.) Esto se debe a que el remolque que recibe o entrega el contenedor se desplaza siempre para encontrarse con la grúa de patio en el punto adecuado situado junto a la nave de apilamiento. De esa forma, la actividad principal de las grúas de patio consiste en levantar y bajar y no en el transporte horizontal de contenedores. En cambio, otros tipos de equipo de apilamiento de contenedores participan continuamente tanto en la elevación y descenso como en el transporte horizontal de contenedores, ya que deben desplazarse para encontrarse con los remolques que aguardan en un punto determinado del patio de contenedores a fin de entregar o recibir un contenedor.

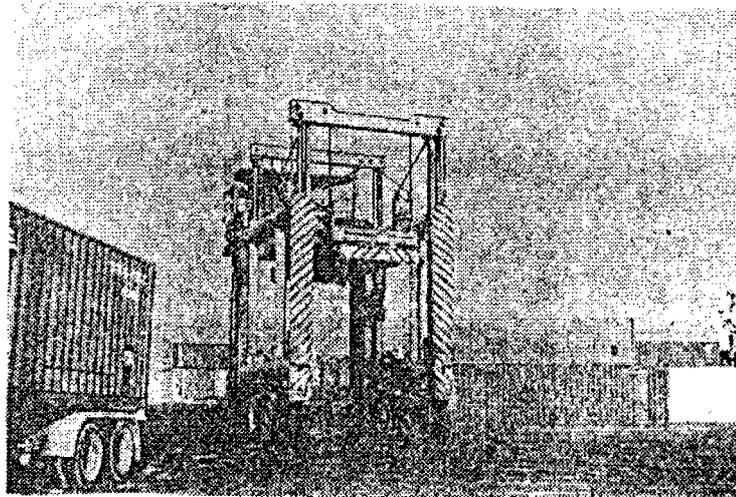
46. Las dos diferencias expuestas suponen un enfoque totalmente diferente del diseño del pavimento del patio de contenedores. Cuando se utilizan grúas de patio, deben diseñarse tres tipos diferentes de pavimento en un patio de contenedores. Esos tipos son:

- a) La nave de apilamiento de contenedores, se diseñará para soportar la carga estática resultante del apilamiento de los contenedores a la máxima altura posible,
- b) Las pistas de desplazamiento de las grúas de patio, se diseñarán para soportar las cargas de ruedas resultantes del funcionamiento y desplazamiento de las grúas de patio,
- c) Las zonas de desplazamiento de los remolcadores y remolques, que se diseñarán para soportar las cargas de ruedas impuestas por el funcionamiento de esta clase de equipo.

47. No obstante, si se utiliza cualquiera de los otros tipos de equipo, habrá que diseñar todo el patio de contenedores de una forma homogénea, para que



Los tres tipos de pavimento necesarios para el funcionamiento de grúas de apilamiento de pórtico de neumáticos de caucho. Obsérvese, en particular, la utilización de un lecho de grava de bajo costo en las zonas en que se apilan los contenedores. Característicamente, el 62% de la superficie de las instalaciones puede componerse de lechos de grava.



La utilización de vehículos de pórtico alto requiere que todo el pavimento se diseñe para soportar cargas de ruedas hasta de 12,5 toneladas, lo que puede ser aumentado hasta en un 60% por los efectos dinámicos.

soporte la combinación más pesada de cargas de ruedas o estáticas de todo el equipo que pueda encontrarse en el patio, es decir, contenedores apilados, remolques, elevadores de horquilla o vehículos de pórtico, etc.

48. Si se examinan los trazados típicos de patios de contenedores en que se utilizan grúas de patio sobre carriles o neumáticos (véase la figura 1), puede calcularse fácilmente que la zona que deberá diseñarse para que soporte cargas de ruedas elevadas comprende sólo, aproximadamente, el 2,2 o el 7,4%, respectivamente, de toda la zona del patio de contenedores. El 69 o el 62% de la zona del patio de contenedores constituye las verdaderas naves de apilamiento, que sólo tienen que soportar las cargas estáticas de los contenedores, y el 28,8 o el 30,6% restante del patio de contenedores tiene que diseñarse para soportar las cargas de las ruedas, relativamente bajas, de los remolques y remolcadores.

49. De lo expuesto se deduce claramente que, cuando se utilizan grúas de apilamiento de patio, la mayor parte del pavimento del patio de contenedores puede ser de una construcción relativamente poco costosa.

50. En cambio, los vehículos de pórtico alto de cargas de ruedas de 12,5 toneladas requieren por lo general pavimentos mucho más costosos. Además de lo ya expresado (transporte horizontal de contenedores), el costo aumenta de acuerdo con el trazado típico del patio de contenedores en que se utilizan esos vehículos de pórtico alto. El apilamiento de los contenedores en callejones por los que se desplaza una sola rueda no permite el aislamiento práctico y, por ello, económico de las verdaderas naves de apilamiento, que pueden diseñarse para soportar sólo las cargas estáticas resultantes de los contenedores. Además, como los vehículos de pórtico alto apilan los contenedores en largas filas, sus ruedas se ven obligadas a recorrer callejones muy estrechos, y la canalización se hace importante. En esos casos se producen con frecuencia profundos surcos, ya que no hay un efecto de nivelación. La figura 2 muestra cómo el daño relativo al pavimento varía con la anchura de los callejones.

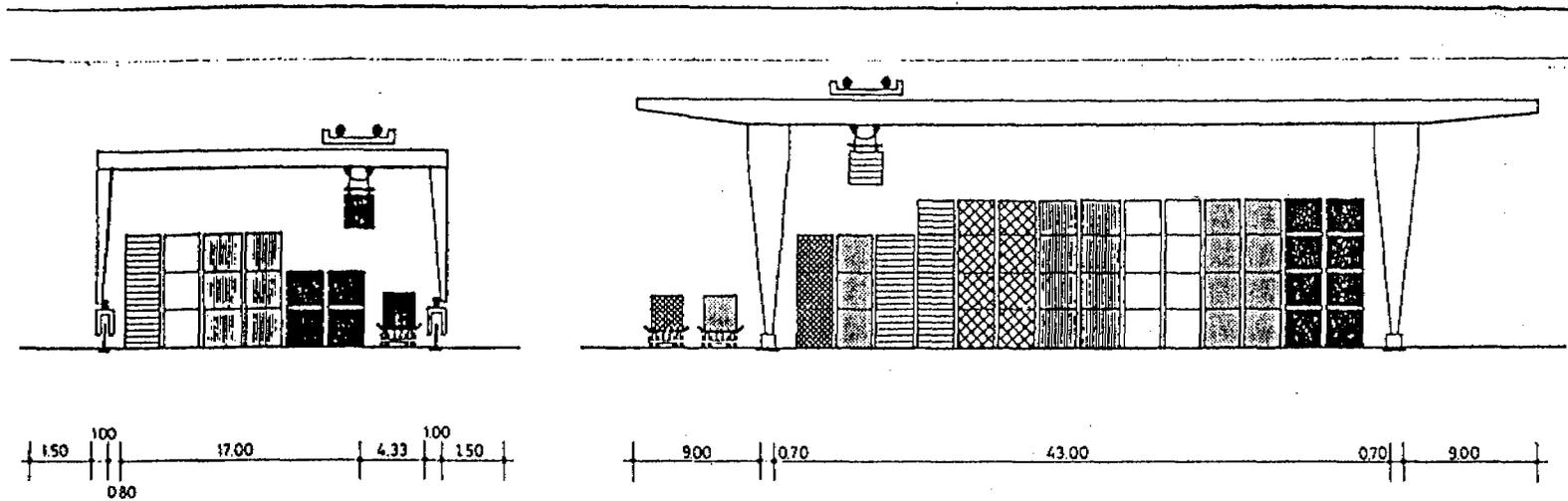
51. Además de lo expuesto, el efecto perjudicial en los pavimentos de los vehículos de pórtico alto, como consecuencia de virajes y frenados, es muy alto.

52. De todo el equipo de manipulación de contenedores, los elevadores de horquilla y los cargadores frontales son los que tienen un efecto más perjudicial en los pavimentos.

53. En comparación con todo el resto del equipo de manipulación de contenedores, los elevadores de horquilla son los que tienen los índices de clasificación de carga más alto para rodadura normal, frenado, virajes, aceleración y superficies irregulares (el peor efecto perjudicial es el causado por los virajes). A fin de poner de relieve el efecto perjudicial relativamente importante de los elevadores de horquilla en los pavimentos, resulta significativo observar que la carga de ruedas de 22 toneladas que transmite al pavimento el eje delantero de un elevador de horquilla que manipula un contenedor de 40 pies es ligeramente superior a las cargas máximas de ruedas transmitidas al pavimento durante el despegue de un Boeing 747 B.

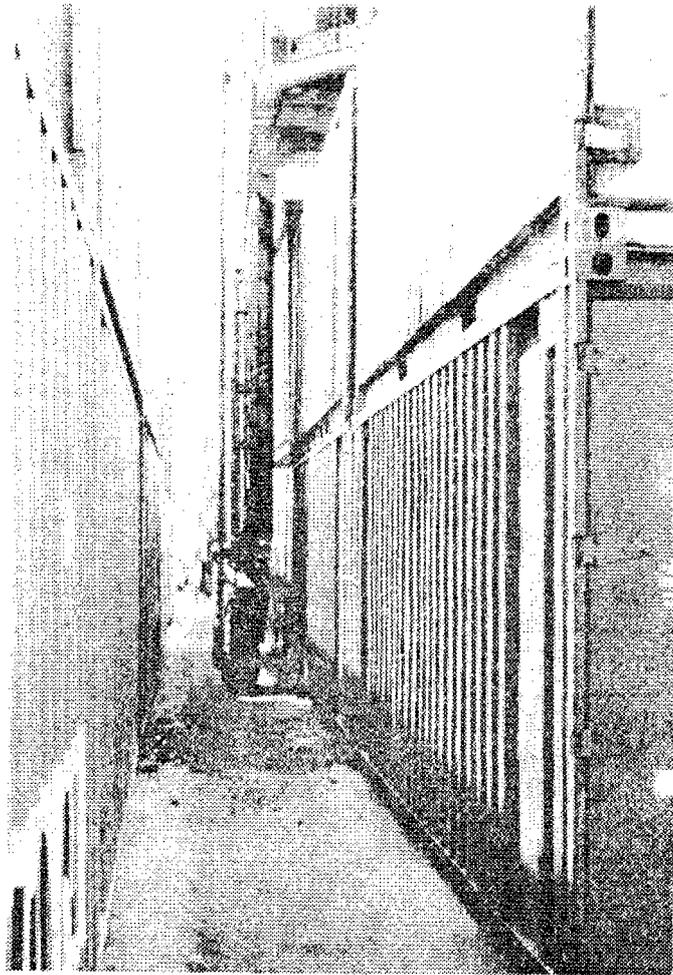
Figura 1

Configuraciones típicas de grúas de pórtico de neumáticos de caucho y montadas sobre carriles



A. Grúa de patio de neumáticos de caucho

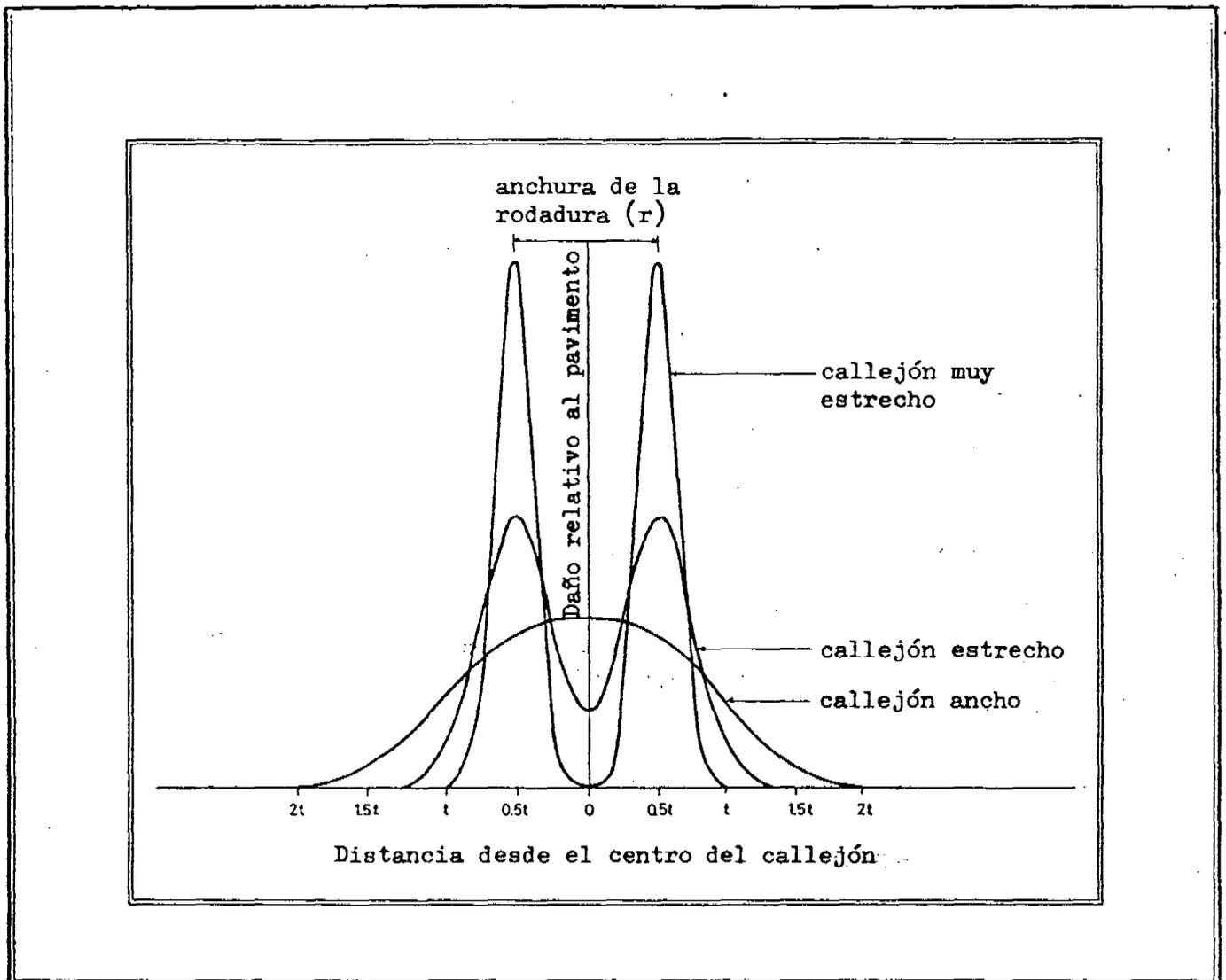
B. Grúa de patio montada sobre carriles



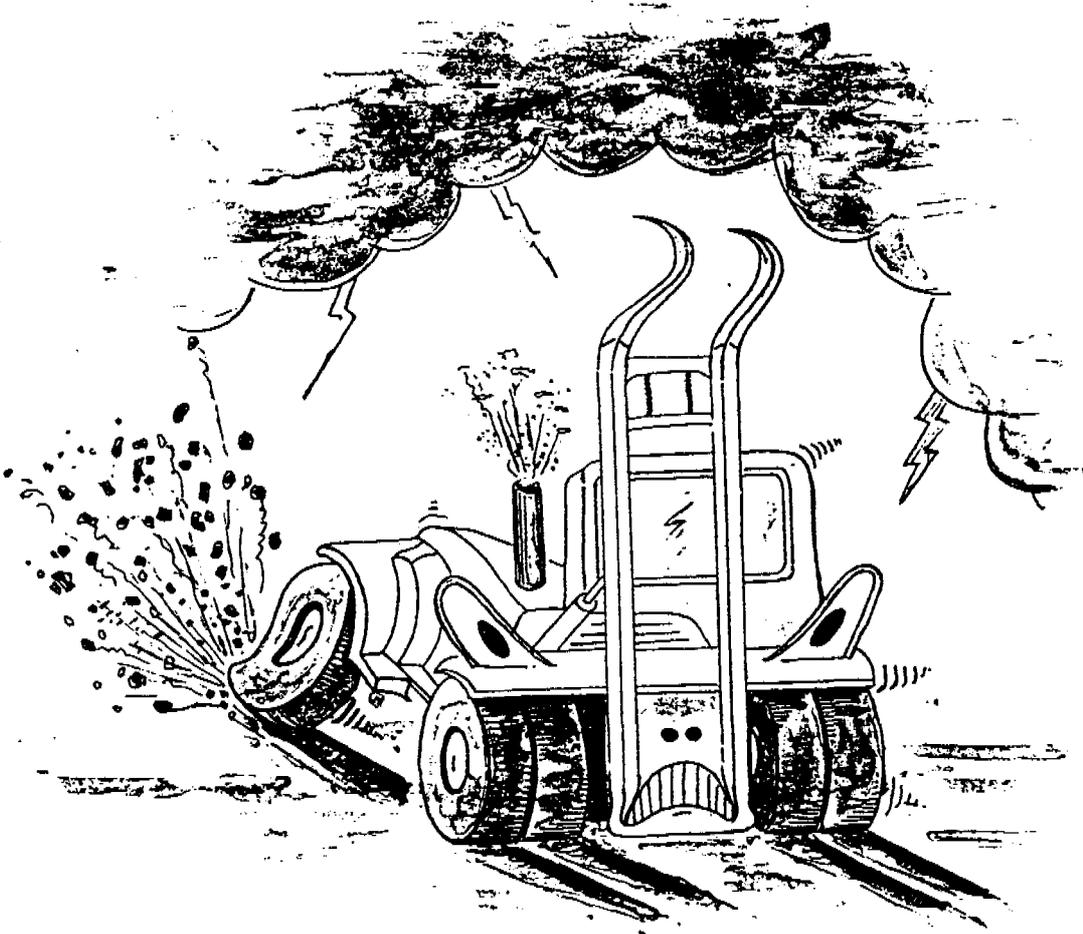
Característicamente, los estrechos pasillos situados entre los contenedores son de 1.500 mm de anchura, lo que se traduce en una grave canalización de las cargas de las ruedas de los vehículos de pórtico alto. Surcos de una profundidad de más de 100 mm resultan corrientes, lo que puede producir el deterioro prematuro del pavimento y dificultades de funcionamiento.

Figura 2

Efecto del aumento de la anchura del callejón
en el daño al pavimento



Cuando el equipo trabaja en callejones estrechos, el daño que causa al pavimento aumenta. Si los vehículos de pórtico alto se mueven dentro de las zonas de apilamiento de contenedores, la anchura de la rodadura y la del callejón son de hecho iguales.



Los camiones de elevación frontal pueden tener cargas sobre el eje delantero de hasta 100 toneladas, y en consecuencia son especialmente perjudiciales para los pavimentos.

3.4. Clasificación de los pavimentos

54. Los pavimentos se clasifican de diferentes formas, algunas de ellas son las que a continuación se indican:

- a) Por su flexibilidad
 - i) Flexibles,
 - ii) Intermedios,
 - iii) Rígidos,
- b) Por el tipo de aglutinante
 - i) Bituminosos,
 - ii) Aglutinados con cemento,
 - iii) Aglutinados con agua,
- c) Por sus estratos
 - i) Monolíticos,
 - ii) Sistemas de dos capas o de capas múltiples,
 - iii) Construcciones de emparedado,
- d) Vistos desde la superficie
 - i) Asfálticos,
 - ii) Losas de hormigón,
 - iii) Adoquines de hormigón,
 - iv) Granulares.

55. La clasificación que antecede dista mucho de ser completa, y son posibles muchas más combinaciones. Sin embargo, como los usuarios de una terminal ven normalmente la superficie misma y no la estructura, para los fines de la presente monografía se ha elegido ese aspecto, ya que es el más corriente y comprensible para los que no son especialistas en este campo.

3.5. Factores que determinan la selección del tipo de pavimento

56. La pregunta decisiva es: ¿qué es lo que se espera del pavimento? Evidentemente, hay muchas consideraciones. Durante el proceso de selección del pavimento deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

- a) Bajos costos de construcción,
- b) Bajos costos de mantenimiento,

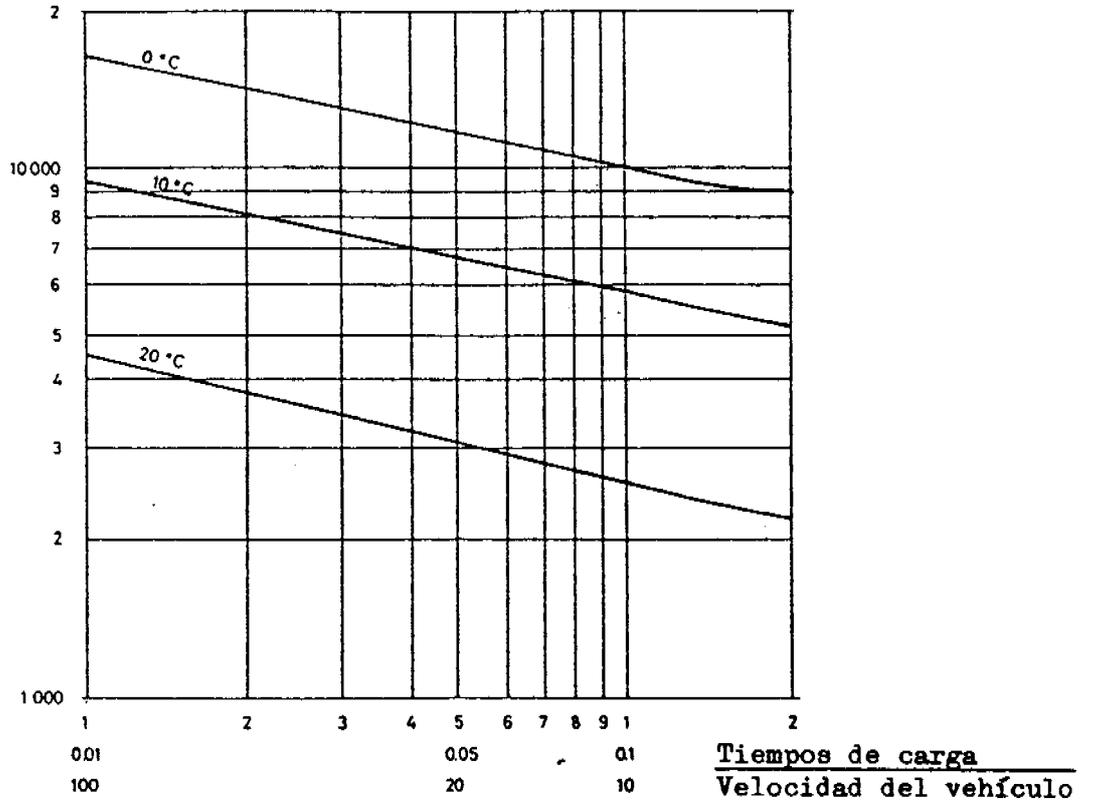
- c) Alta fiabilidad,
- d) Vida prevista,
- e) Tipo de circulación: velocidad de los vehículos, cargas de las ruedas (factores de carga dinámicos, es decir, frenado, virajes, aceleración, superficie irregular), tipos de neumáticos, presión de contacto y canalización,
- f) Carga estática: cargas concentradas (forma y tipo de apoyos),
- g) Cargas impulsivas,
- h) Trazado y funcionamiento del puerto,
- i) Contaminación superficial: aceite hidráulico, sales anticongelantes,
- j) Resistencia del subsuelo,
- k) Asentamiento previsto: a corto y a largo plazo,
- l) Clima: pluviosidad, temperatura, heladas,
- m) Usos y desarrollos futuros,
- n) Disponibilidad de materiales locales,
- o) Pendientes permisibles en diferentes direcciones, en relación con la utilización del equipo, el apilamiento y el agua de lluvia,
- p) Tiempo de construcción disponible,
- q) Características de la superficie: lisa, regular, limpia, siempre seca, nunca resbaladiza, absolutamente horizontal, sin una sola discontinuidad.

57. La superficie ideal podría describirse como la que satisficiera todos los requisitos mencionados y algunos más que, sin duda, se podrían añadir para hacer ese ideal aún más inalcanzable. En la práctica, sin embargo, todo diseño debe ser una transacción entre cierto número de requisitos contrapuestos. El arte de la selección de pavimentos consiste en determinar qué elementos de la lista que antecede son de mayor importancia y asegurarse de que reciben la prioridad apropiada. Será imposible satisfacer todos los requisitos por completo, y la selección de pavimentos requiere buen juicio y experiencia para equilibrar requisitos posiblemente opuestos.

3.6. Opciones existentes para el pavimento de una terminal para contenedores

58. Un gran número de factores pueden influir en la elección final: mandato, datos sobre el substrato, sistemas de manipulación, materiales disponibles, mano de obra disponible, experiencia del contratista, niveles de precios relativos, presupuestos y finalmente, aunque no en último lugar, gusto personal, prejuicios e incluso hábitos.

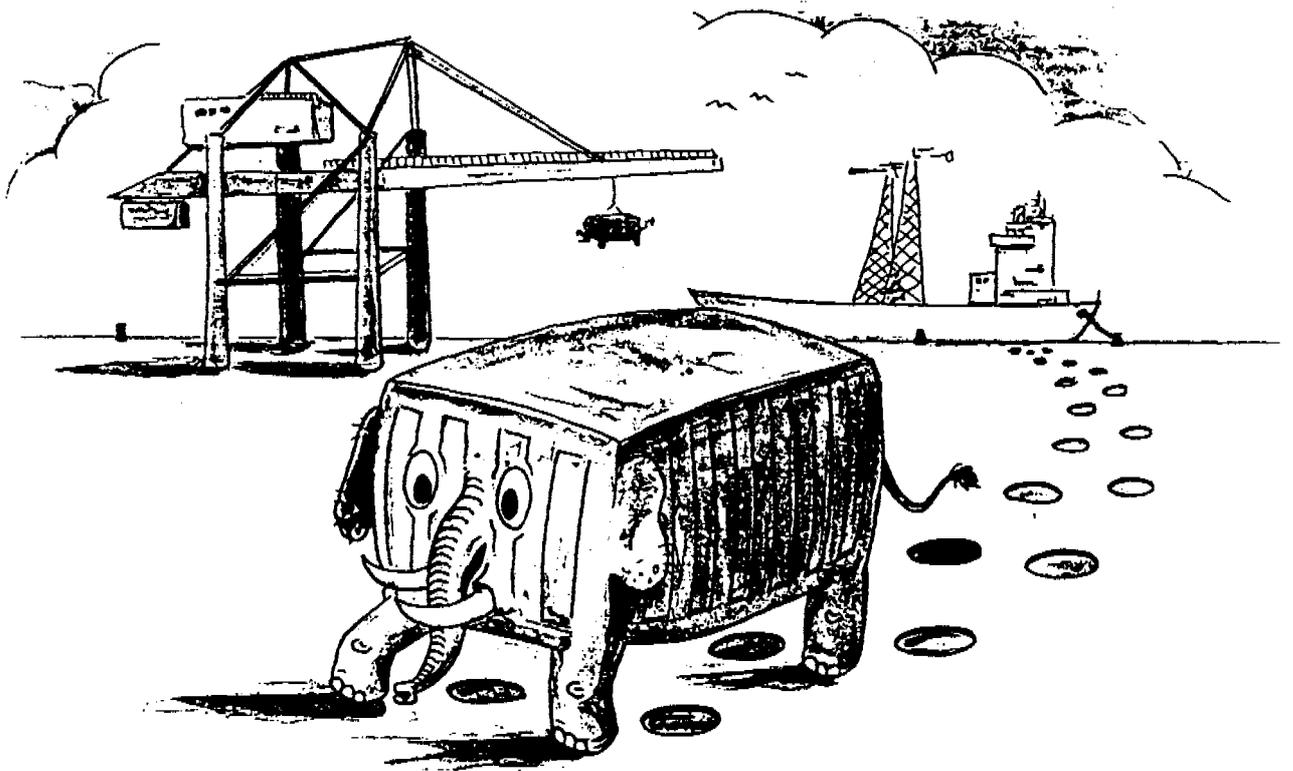
Rigidez real de la mezcla bituminosa N/mm^2



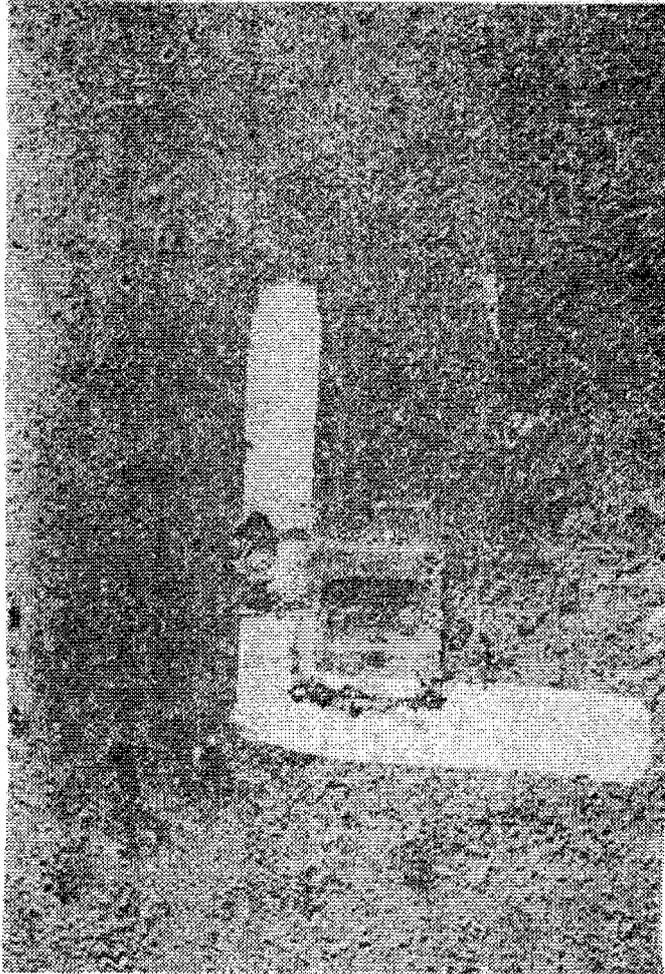
Efecto de la velocidad del vehículo y de la temperatura del pavimento en la rigidez de la mezcla bituminosa



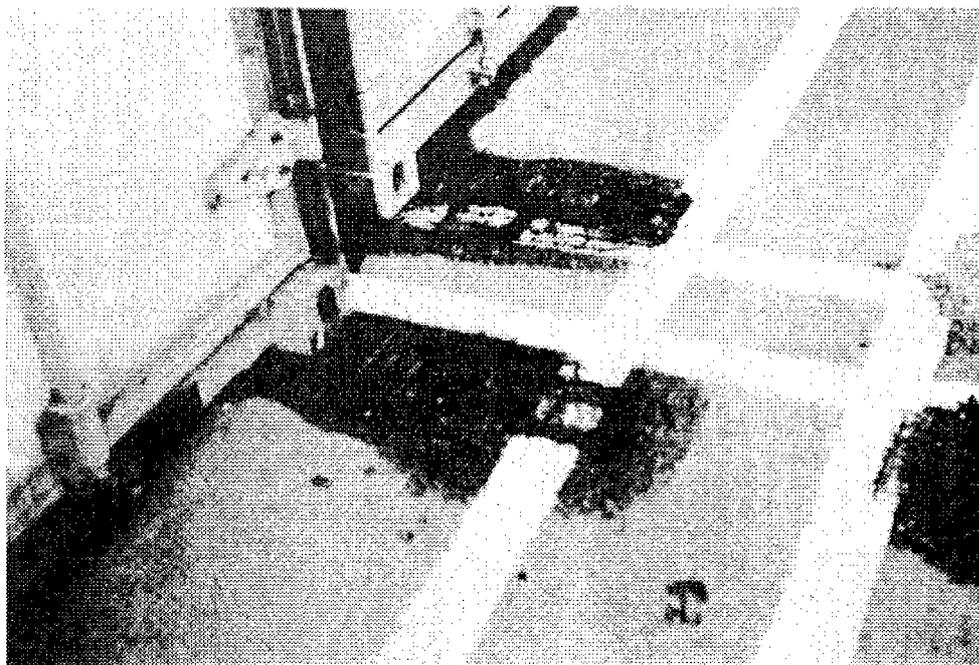
Degradación del asfalto como consecuencia de derrames de aceite del equipo de manipulación.



Los contenedores pueden pesar 30 toneladas o más y toda esa carga se transmite al pavimento por cuatro pequeñas piezas fundidas que sobresalen 12,5 mm bajo la parte inferior del contenedor.



Indentación típica de las piezas fundidas de las esquinas



El agua retenida en las indentaciones de las piezas fundidas de las esquinas puede acelerar la degradación del pavimento.



La indentación de las piezas fundidas de las esquinas hace que entren en contacto la parte inferior del contenedor y el pavimento. Tanto el contenedor como el pavimento pueden resultar dañados.

59. Podría ser muy poco profesional sugerir que existe una solución establecida para cada conjunto determinado de condiciones, pero lo que puede decirse con seguridad es que, en los últimos años, se dispone de una gama mayor de posibles soluciones.

60. Sin pretensiones de exhaustividad, a continuación se hace una breve referencia a los tipos de pavimento disponibles que se adoptan normalmente para patios de contenedores.

61. No obstante, esas observaciones son de carácter general, y no tienen en cuenta las condiciones locales típicas.

3.6.1. Superficies bituminosas o asfálticas

62. Las superficies de aglutinante bituminoso se han utilizado ampliamente, tanto para pavimentos de autopistas como para pavimentos de aeropuertos y, al ser relativamente poco costosas y fáciles de colocar, su aplicación a los pavimentos portuarios parecía lógica. Sin embargo, su resultado general ha sido deficiente. El asfalto apisonado similar al utilizado en las carreteras es demasiado blando para soportar grandes cargas de ruedas, altos esfuerzos de contacto y bajas velocidades de vehículos sin que se produzcan grandes surcos e indentaciones. Hay tres características de la mezcla asfáltica a las que se debe en gran parte ese deficiente resultado en su aplicación a los puertos:

- a) La rigidez o resistencia de un material bituminoso disminuye a medida que aumenta la temperatura;
- b) La rigidez de una mezcla bituminosa disminuye a medida que aumenta el tiempo de carga; es decir, cuanto menor sea la velocidad del vehículo, más baja es la rigidez;
- c) La contaminación del aceite superficial disuelve lentamente el aglutinante bituminoso, exponiéndolo más al desgaste y a su ataque por la helada.

63. Las dos primeras características causan los surcos e indentaciones que aparecen en los meses de verano. Este es un problema especial en los climas cálidos.

64. El peor problema en los patios de contenedores es el causado por las ruedas de las carretillas de los remolques. Estas ruedas penetran fácilmente en una superficie blanda hasta una profundidad de más de 75 mm, dejando la superficie expuesta al ataque de la helada y a la desintegración mecánica. Un problema análogo e igualmente grave se produce en las zonas de apilamiento de los contenedores, con las piezas fundidas de las esquinas de los contenedores: como la carga estática se repite muchas veces casi en el mismo sitio, las indentaciones son a veces muy profundas, y el resultado es que el centro del contenedor "toca fondo" antes. Aunque se considera que un pavimento asfáltico es una construcción flexible, una excesiva diferencia de asentamiento producirá el agrietamiento y ulterior fractura de la capa aglutinante. No hay solución barata para este problema en las grandes zonas de asentamiento, y por esta razón la construcción asfáltica se rechaza a menudo en favor de superficies más duraderas, como las plataformas de hormigón o los adoquines de hormigón. Tradicionalmente, el asfalto ha sido uno de los

materiales de superficie menos costosos, pero el precio del bitumen ha aumentado bruscamente en los últimos años, igualando más su costo de construcción al de las otras formas de construcción.

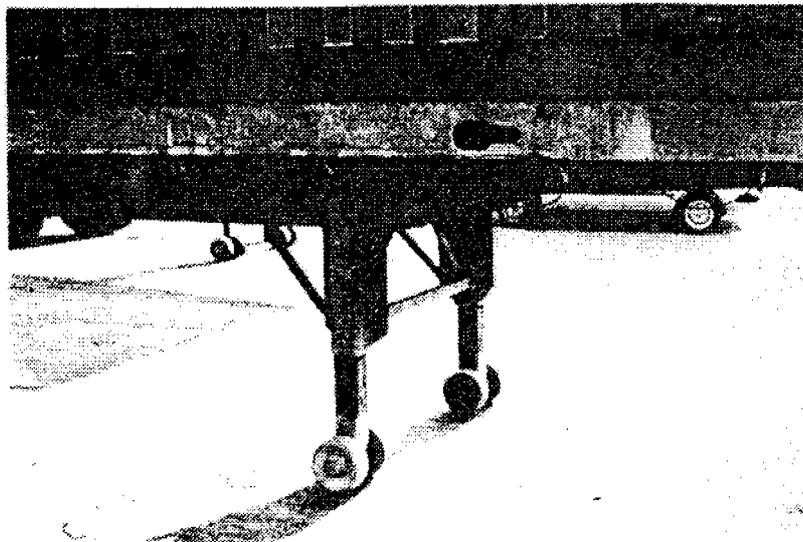
3.6.2. Hormigón fabricado sobre el terreno

65. Un pavimento de hormigón fabricado sobre el terreno es una forma rígida que ofrece una superficie muy duradera y resistente al desgaste, capaz de soportar altos esfuerzos de contacto. Además, la superficie es lisa, ofreciendo así excelentes condiciones de rodadura y buena resistencia al derrape. Las losas de hormigón no muestran deformaciones permanentes bajo cargas concentradas y, en general, son resistentes al uso violento. Se dispone fácilmente de los materiales en casi todos los países del mundo y el equipo de construcción y la mano de obra no plantean en la mayoría de los casos ningún problema. Además, la superficie no se debilita por los derrames de aceite ni las altas temperaturas. Sin embargo, hay que mencionar también algunos inconvenientes. Hay algunos casos en que la utilización de ese tipo de construcción de pavimentos resulta impracticable. Los factores implicados son los siguientes:

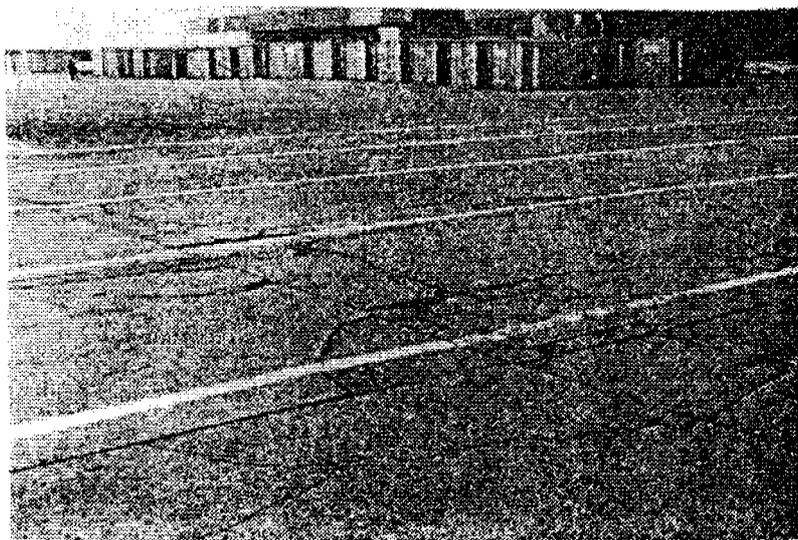
- a) El asentamiento del subsuelo no puede asimilarse sin un agrietamiento excesivo. En general, las losas de hormigón sólo pueden ser utilizadas debidamente si se colocan en determinadas zonas muy estables en las que no se prevé ningún asentamiento. Lamentablemente, rara vez ocurre así en la construcción de un puerto moderno, en donde normalmente se crean zonas nuevas ganando terreno al mar;
- b) Debe tenerse en cuenta de algún modo la expansión térmica y el modo de construcción;
- c) Hace falta una gran resistencia del hormigón, por lo menos de 30 N/mm^2 , para reducir el cuarteado y los daños causados por choques;
- d) La reparación de las losas de hormigón rotas o deformadas es muy difícil;
- e) La rehabilitación de la superficie, el excavado de zanjas para cables o el acceso a los servicios subterráneos son también muy difíciles y costosos.

3.6.3. Plataformas de hormigón premoldeado

66. Una superficie dura de hormigón es ideal en las zonas portuarias sometidas a grandes cargas, y puede lograrse la necesaria flexibilidad utilizando un material de superficie de hormigón premoldeado que pueda colocarse de nuevo a medida que se produce el asentamiento. La respuesta es la utilización de plataformas de hormigón premoldeado, que son básicamente una formación de construcción auténticamente rígida. Esas plataformas son generalmente de 2 m^2 , están reforzadas y tienen normalmente un cerco angular de acero protector para evitar que el hormigón se cuarteo bajo concentraciones de esfuerzos locales. La sub-base es generalmente granular y debe ser de drenaje libre para evitar la saturación y la necesidad ulterior de bombeos



El hormigón fabricado sobre el terreno puede soportar grandes esfuerzos de contacto, como los aplicados por las ruedas de apoyo de un remolque.



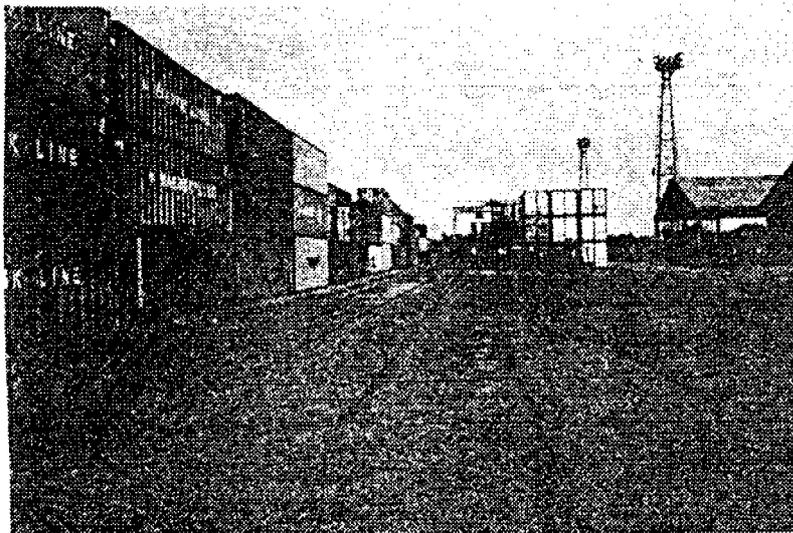
Agrietamiento de losas de hormigón como consecuencia del asentamiento del subsuelo.



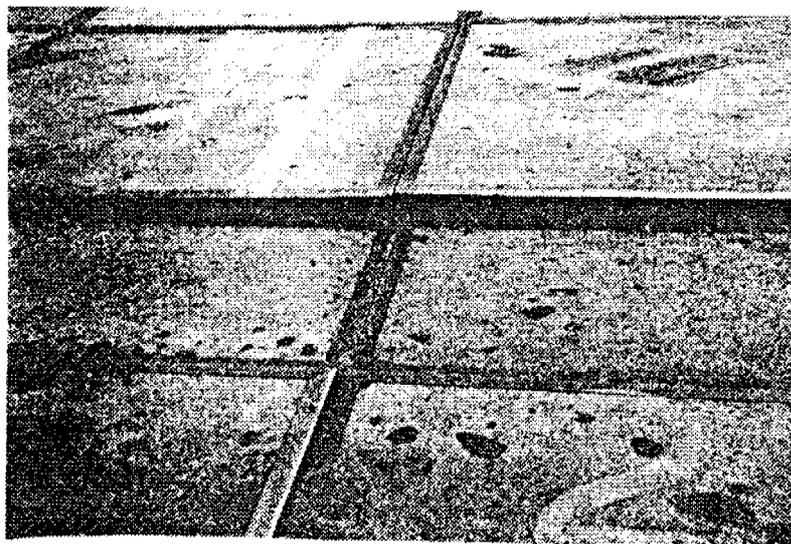
Es poco probable que el hormigón de mala calidad dure mucho en unas instalaciones de manipulación de contenedores.



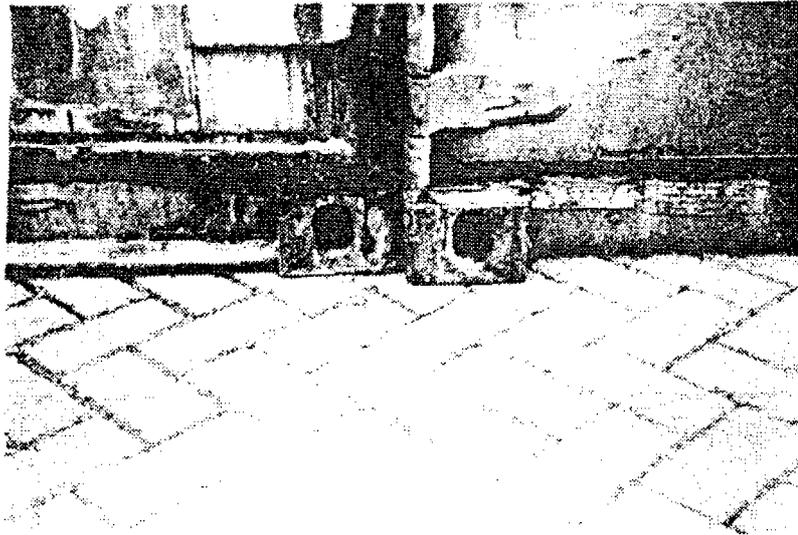
Las reparaciones del pavimento de hormigón fabricado sobre el terreno son costosas y perturbadoras.



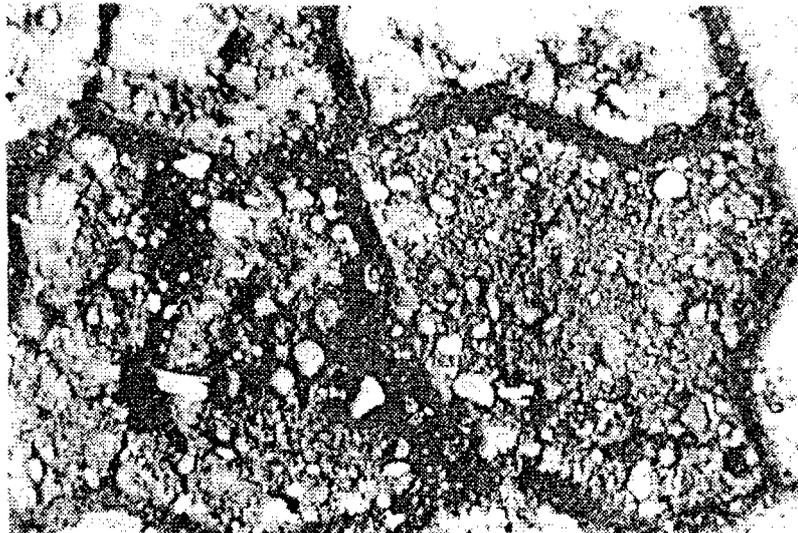
En el decenio de 1960, los puertos especificaban por lo común plataformas de hormigón premoldeado de 2 m x 2 m, pero su alto costo inicial y su deficiente resultado las hacen hoy menos competitivas que otras opciones.



Las diferencias de asentamiento de las plataformas ha sido un problema habitual, que se ha traducido en daños a la maquinaria de operaciones, ruptura de las plataformas y formación de charcos.



Los adoquines rectangulares de hormigón premoldeado se utilizaron por primera vez en los patios de contenedores en 1970 y se han convertido hoy en la solución preferida para muchos casos, en todo el mundo.



Los adoquines de hormigón premoldeado de distintas formas se han utilizado en los puertos con menos éxito que los rectangulares.

después de períodos de grandes lluvias. Las plataformas de hormigón premoldeado presentan varias ventajas:

- a) Buen control de calidad en la fabricación,
- b) Alcanzan su plena resistencia endureciéndose fuera del emplazamiento,
- c) Se necesita poca maquinaria para su colocación,
- d) Puede circularse inmediatamente sobre ellas,
- e) Pueden levantarse y volverse a colocar fácilmente para asimilar el asentamiento del emplazamiento.

67. Sin embargo, como cualquier otro sistema, éste tiene también algunas desventajas:

- a) El costo de las plataformas es muy alto, esto se ve agravado por el gran tamaño de las unidades, que pesan alrededor de 1,25 toneladas, lo que hace costoso su acarreo,
- b) Al ser las unidades mayores que la anchura de la rodadura del equipo de manipulación y las piezas moldeadas de las esquinas que soportan los contenedores, las plataformas sufren grandes momentos de flexión por quebranto. Si el subsuelo de apoyo se ha asentado, esto puede causar agrietamiento en los ángulos,
- c) También hay que controlar las diferencias de asentamiento entre las plataformas, ya que unos escalones excesivos pueden ser peligrosos para el desplazamiento del equipo de manipulación y causar también problemas para el drenaje superficial del agua de lluvia.

68. No toda la experiencia con plataformas ha sido mala. Sin embargo, el alto costo de su construcción, lamentablemente, no se ha visto compensado en muchos casos por un buen historial de rendimiento. Por lo común, los costos generales son considerablemente mayores que los de la posibilidad consistente en adoquines de hormigón premoldeado.

3.6.4. Adoquines de pavimentación de hormigón

69. Los adoquines de hormigón se han acreditado como una forma satisfactoria de superficie para pavimentos de zonas portuarias y ofrecen las mismas ventajas que el sistema de plataformas. Tienen una superficie muy dura y duradera, y poseen al mismo tiempo la flexibilidad característica de la construcción de asfalto. Las distintas unidades son pequeñas y, siempre que tengan el espesor suficiente, no se producen agrietamientos por tracción. Como la estructura está ya "agrietada", la superficie puede asimilar una amplia deformación sin daños. Además, en los casos de asentamiento, se puede levantar y volver a colocar los adoquines en unas horas. Originalmente, los adoquines de hormigón se colocaban a mano, pero recientemente se ha encontrado una solución mecánica para su colocación. Los adoquines se colocan sobre una capa de arena enrasada pero sin compactar. Se somete la superficie a vibración para darle su perfil final y ello obliga a la arena a subir por las juntas, convirtiendo las distintas unidades en una superficie homogénea y

dando al mismo tiempo a la superficie su resistencia y continuidad. Una vez que los adoquines se han enlazado con arena, es decir, se han "entrelazado", la resistencia de la capa superficial es alta. Además, como los adoquines se hacen de hormigón de alta calidad, la durabilidad de la superficie es excelente, y puede soportar sin problemas la carga, muy dura, de las ruedas de carretilla de los remolques y de las piezas fundidas de las esquinas de los contenedores. El costo inicial de la construcción en algunos países es normalmente algo superior al de una estructura asfáltica, pero como los pavimentos de adoquines existentes requieren un mantenimiento muy escaso, los costos generales pueden resultar menores. Sin embargo, la reciente introducción de la colocación mecánica permite colocar hasta 700 m² de adoquines de hormigón por máquina-día. Se ha informado de que el ahorro consiguiente en la instalación de los adoquines de hormigón ha reducido en algunos casos los costos de la pavimentación con esos adoquines a una suma inferior a la de un pavimento bituminoso equivalente.

3.6.5. Formas de pavimento para grandes cargas

70. La experiencia y la investigación muestran que la mejor forma de que un pavimento soporte las pesadas cargas aplicadas en los patios de contenedores es que tenga una base muy firme. Por consiguiente, se recomienda que los cuatro tipos de pavimentos descritos en los párrafos anteriores (es decir, de asfalto, hormigón fabricado sobre el terreno, plataformas de hormigón y adoquines de hormigón) adopten la forma que se muestra en la figura 3.

71. Es de observar que, en los pavimentos para grandes cargas, la superficie contribuye relativamente poco a la resistencia general del pavimento, ya que la base es de gran espesor y proporciona la mayor parte de la resistencia.

3.6.6. Lechos de grava

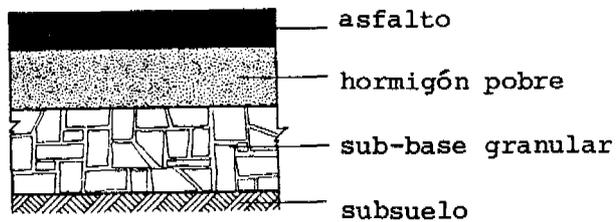
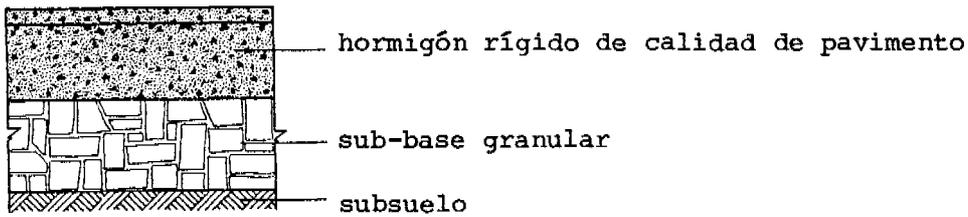
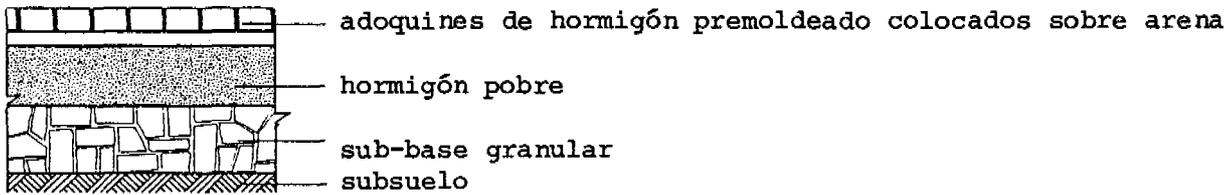
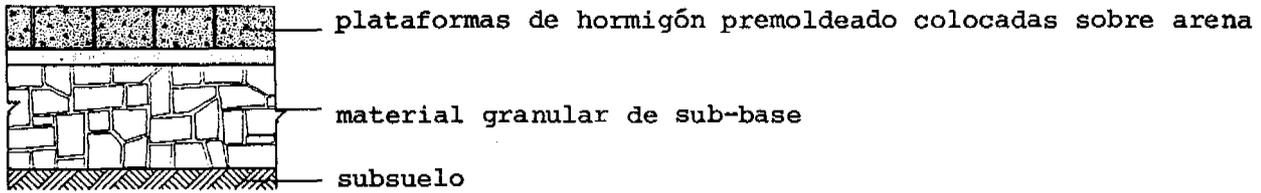
72. La mayoría de los inconvenientes de los pavimentos, si no todos, están relacionados con la necesidad de ofrecer una superficie de rodaje lisa. La práctica ha mostrado que el método más económico para lograr, de forma adecuada, esa superficie, es utilizar bitumen o cemento combinado con material inerte. Sin embargo, el empleo de esos dos materiales, sumamente útiles, da origen a la mayoría de los problemas. El agrietamiento, los daños superficiales causados por el aceite, la dificultad de acceso a los servicios subterráneos y reparaciones y mantenimiento costosos son sólo algunos de los problemas debidos a la presencia de esos dos aglutinantes. Si una superficie de rodaje lisa no es requisito previo, no hay razón para utilizar esos dos costosos materiales aglutinantes del material inerte. La circunstancia principal en que no se requiere una superficie lisa es cuando no hay cargas que se desplacen. De hecho, hay un caso en las operaciones de manipulación de contenedores en que no se requiere esa superficie: el de las naves de apilamiento, entre las patas de las grúas de patio.

73. Recientemente se ha ensayado para esos casos un tipo de pavimento muy simple y poco costoso, basado en la grava.

74. Existe un prejuicio corriente que lleva a identificar las soluciones simples y baratas con las malas e insuficientes, pero este sistema de lecho de grava, aunque simple y poco costoso, no es en modo alguno "barato" en el sentido que normalmente se da a la palabra. Los lechos de grava, al ser un

Figura 3

Pavimentos típicos recomendados para cargas pesadas. Se trata de
cuatro categorías de pavimentos incluidas en el manual de diseño
de pavimentos portuarios para cargas pesadas de
la British Ports Association



sistema de pavimentación sencillo, son muy fáciles de describir. No son más que una capa de grava de cierto espesor (aplastada o de materiales en su forma natural), de cierta gradación, colocada, nivelada y apisonada directamente sobre el subsuelo subyacente. Este subsuelo puede ser el terreno natural después de darle forma adecuada, un material de relleno o de recuperación, o un material fabricado como sub-base, según las condiciones locales y parámetros de diseño especiales.

75. La grava debe ser de piedra dura de un tamaño preferiblemente menor de 50 mm. La finalidad es evitar la posibilidad de que pase a las zonas pavimentadas cercanas como consecuencia de haberse introducido en la cavidad inferior de las piezas fundidas de las esquinas de los contenedores. Sin embargo, se ha observado que, en algunos casos raros, se ha producido también el paso de cierta cantidad de grava a las zonas pavimentadas próximas debido a que los materiales muy pequeños y, por consiguiente, ligeros, se adhieren a veces a la parte inferior de algunos contenedores de superficies adherentes como consecuencia de la presencia de grasa o de pintura vieja parcialmente descascarillada. Los ensayos reales sobre el terreno han demostrado que los materiales de la gravedad específica normal mayores de 20 mm no se adhieren. Por consiguiente, el tamaño de grava recomendado es el comprendido entre 25 y 50 mm.

76. Los lechos de grava, a consecuencia de las unidades muy pequeñas de que se componen, forman una superficie que se comporta como un cojín. Esto significa que pueden adoptar un perfil superficial compatible con el de la cara inferior de los contenedores apilados. La situación es análoga a las condiciones de flotamiento. Esto resulta posible porque las piezas fundidas de las esquinas del contenedor, que sobresalen sólo 12,5 mm, se hunden en la grava, con el resultado de que los contenedores se apoyan sobre toda su superficie inferior.

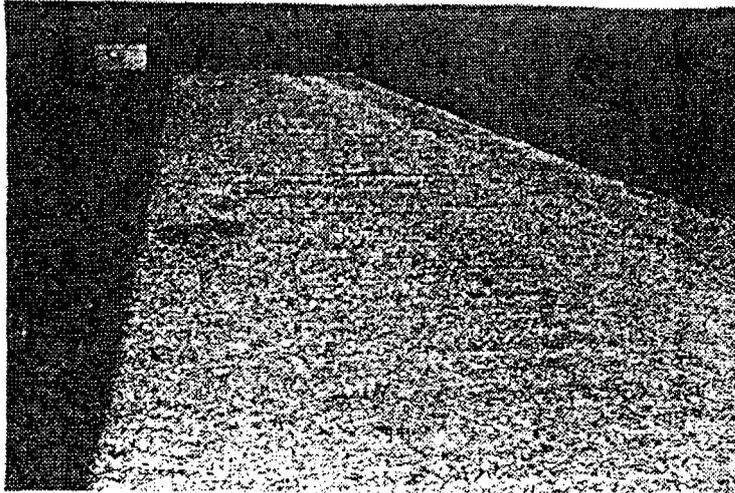
77. Debido a los vacíos existentes entre los materiales, se supone que la superficie de contacto real es del 70% de la superficie planificada de las piezas de acero que sobresalen por debajo y soportan el suelo del contenedor. Esta superficie es de unos 5 m².

Nota: Peso bruto máximo de un contenedor de 20 pies: 20,17 toneladas

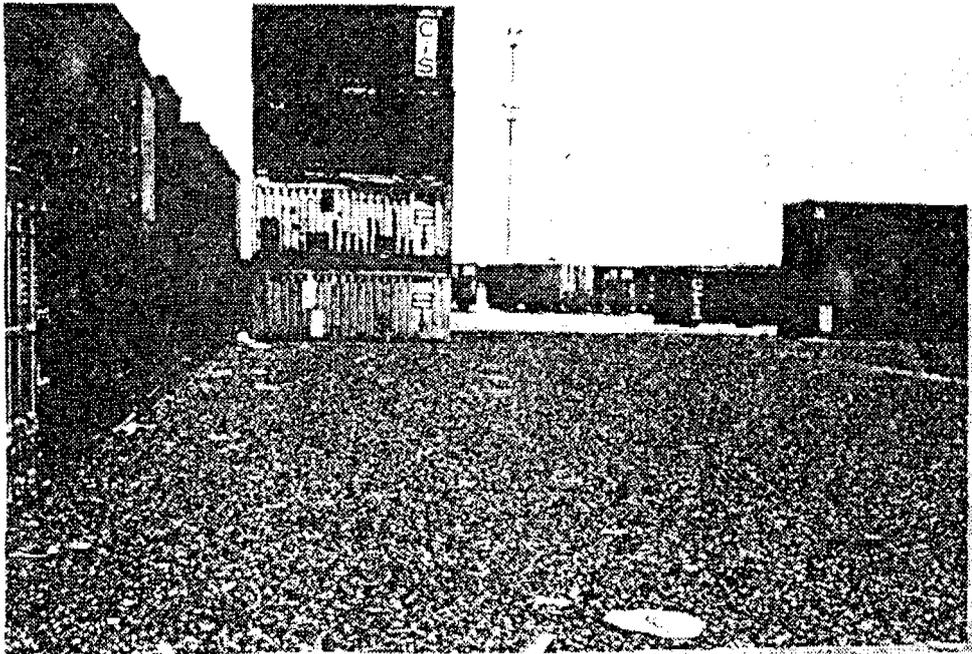
Peso bruto máximo de un contenedor de 40 pies: 30,40 toneladas

78. En el caso de los lechos de grava, el contenedor de 20 pies es el que ofrece peores condiciones de carga, ya que la unidad de 40 pies tiene una superficie doble de planta, pero su peso bruto máximo es inferior al doble del de la unidad de 20 pies. En el caso de los pavimentos de hormigón o de asfalto, como los contenedores se apoyan en sus piezas fundidas de las esquinas, la unidad de 40 pies es la que ofrece peores condiciones de carga, ya que pesa más que la unidad de 20 pies, pero sigue teniendo sólo cuatro piezas fundidas en las esquinas.

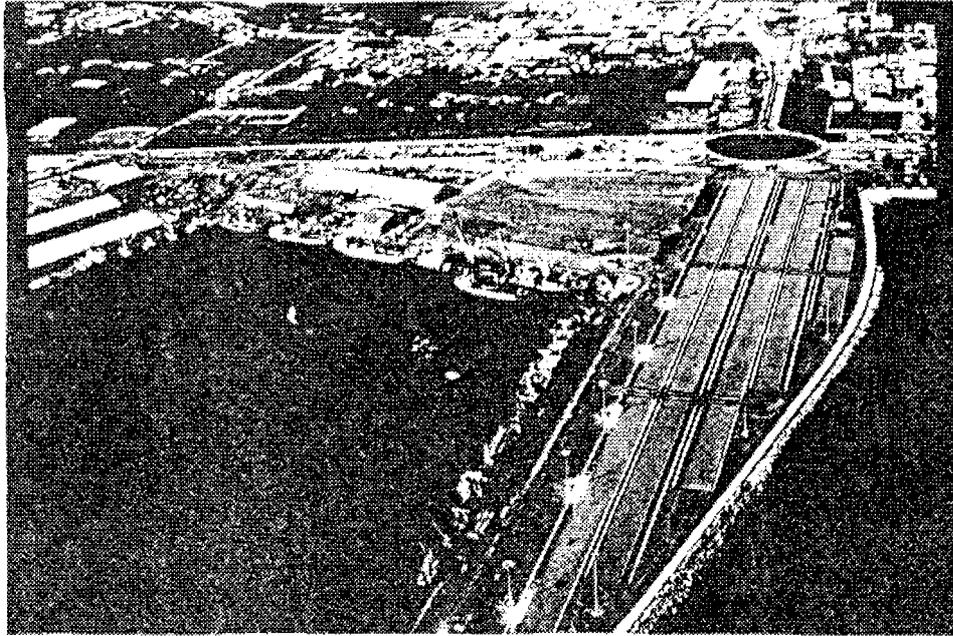
79. El cuadro 4 presenta las cargas y los esfuerzos máximos de una disposición de apilamiento en bloques, cuando se utilizan lechos de grava. La comparación del cuadro 4 y el cuadro 3, que se refiere a las superficies de asfalto o de hormigón, demuestra que los esfuerzos de contacto en el caso de los lechos de grava son entre 46 y 34 veces inferiores, para alturas de apilamiento de 1 a 5 respectivamente.



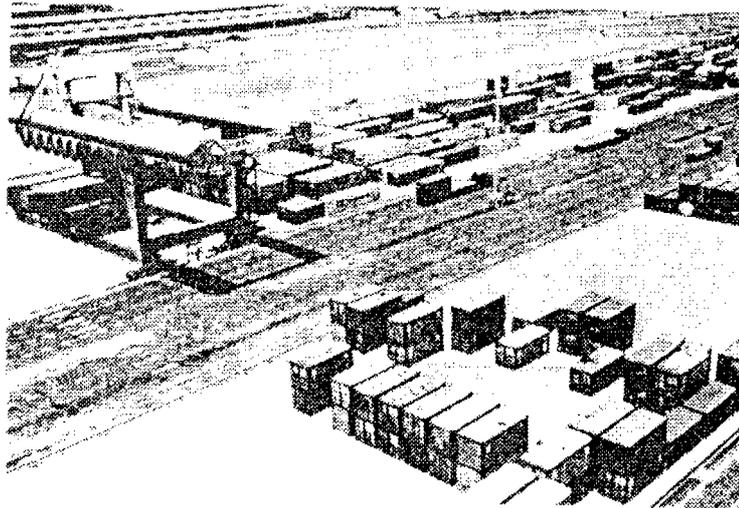
Los lechos de grava adoptan un perfil superficial que se adapta a la cara inferior de los contenedores, de forma que la presión sobre el suelo se reduce al mínimo.



En el puerto de Ashdod, Israel, se han almacenado contenedores llenos en bloques de cuatro, sobre lechos de grava, durante un período de diez años, en el que los costos de mantenimiento fueron nulos y no se produjeron daños a los contenedores.



Lechos de grava en el puerto de Limassol, Chipre, poco después de su construcción.



Después de su excelente experiencia con lechos de grava en Ashdod, la Dirección de Puertos de Israel adoptó el mismo sistema en su nueva terminal del puerto de Haifa.

Cuadro 4

Cargas de pavimento del apilamiento de contenedores en bloques

Altura de apilamiento	Reducción del peso bruto (%)	Lechos de grava	
		Carga (kg)	Esfuerzo de contacto (N/mm ²)
1	0	20 000	0.056
2	10	38 000	0.107
3	20	54 000	0.15
4	30	68 000	0.190
5	40	80 000	0.224

80. Una pregunta razonable que puede dedicirse de lo expuesto es si el suelo de los contenedores está diseñado para soportar, sobre su cara inferior, su propio peso bruto más el de otros cuatro contenedores. Esta pregunta sólo pueden responderla los fabricantes de contenedores. Sin embargo, lo que puede decirse en la presente monografía es que la experiencia adquirida durante algunos años en las terminales para contenedores en que existen lechos de grava no ofrece ningún indicio de que los contenedores sufran daños como consecuencia de su apilamiento sobre grava.

81. En el cuadro 5 se hace una comparación de los costos de construcción en diversos países entre los lechos de grava y el asfalto, que es el tipo de pavimento más tradicional. Todas las cifras, que se refieren a 1982, se han obtenido de contratistas o consultores que participan o han participado en proyectos realizados en esos países. Para su fácil consulta, los costos se han convertido en dólares de los EE.UU., utilizando los tipos de cambio vigentes en el momento de la preparación del cuadro. Sin embargo, la finalidad de esa comparación es indicar el orden de magnitud de los costos y no los costos exactos.

82. Si se supone un patio de contenedores de 100.000 m² en el que se utilicen grúas de patio montadas sobre carriles, unos 69.000 m², aproximadamente, forman las naves de apilamiento. En tal caso, la elección de lechos de grava en lugar de pavimento asfáltico significaría, a precios de 1982, un ahorro de unos 897.000 dólares de los EE.UU. en la India, de 814.000 dólares de los EE.UU. en el Reino Unido, o de 517.500 dólares de los EE.UU. en Chipre.

83. Además de su enorme ahorro inicial de costo, los lechos de grava son de mantenimiento muy barato. De hecho, la experiencia adquirida indica que requieren escaso mantenimiento o prácticamente ninguno. La limpieza ocasional de desechos parece ser todo lo necesario. Las naves de contenedores de un proyecto de lecho de grava del puerto de Penang (Malasia) se marcaron con pintura de señalización de carreteras, y las marcas eran claramente visibles al cabo de dos años de uso.

Cuadro 5

Costos de construcción: lechos de grava y asfalto

País	Costo/m ² de 10 cm de pavimento de asfalto con 20 cm de base granular y 15 cm de sub-base (en dólares de los EE.UU.)	Costo/m ² de 40 cm de lecho de grava (en dólares de los EE.UU.)	Porcentaje de ahorro aproximado si se adoptan lechos de grava (en porcentaje)
Chipre	11	3.5	68
Grecia	9	3.0	67
Malasia	11.5	4	65
India	20	7	65
Reino Unido	20	8.2	59
Indonesia	17.3	7.7	57
Omán	17	8.4	50
Países Bajos	18.3	9.8	46
Arabia Saudita	17	8.2	45
Emiratos Arabes Unidos	16.5	9	45

84. Con independencia del bajo costo inicial y de mantenimiento, los lechos de grava ofrecen otras ventajas importantes:

- a) Drenaje: A diferencia de otros sistemas de pavimentación, el drenaje del agua de lluvia puede lograrse de forma muy poco costosa pero satisfactoria, a causa de la propiedad natural de las capas de grava de absorber el agua.

Como el drenaje vertical es posible en toda la zona, no hay necesidad de prever fosas de captación, pozos de visita, etc.

Se han creado tres sistemas de drenaje para los lechos de grava, que dependen de la permeabilidad relativa del subsuelo por debajo de esos lechos hasta el nivel del agua de mar. Esos sistemas son el de drenaje completamente libre, el de drenaje libre con desagües de cascote verticales, y el de drenaje parcialmente libre con desagües colectores horizontales perforados bajo los lechos.

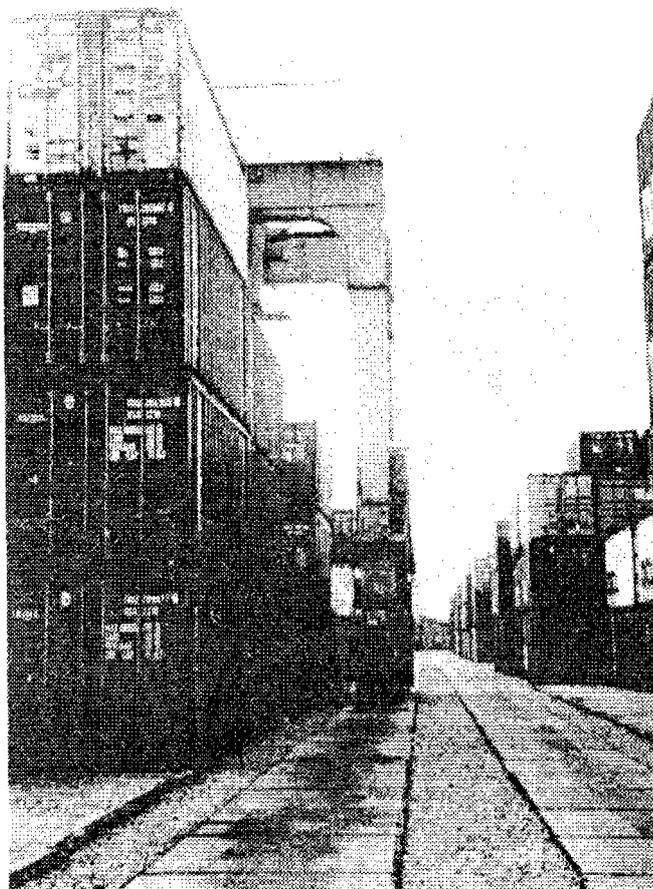
Los lechos de grava pueden desempeñar también temporalmente, en algunos casos, el papel de una zona de almacenamiento amortiguadora para retener cualquier exceso de agua que sobrepase la capacidad del sistema de drenaje situado bajo los lechos, si se producen tormentas de intensidad inesperada.

Además, se puede permitir el drenaje del agua procedente de las zonas pavimentadas adyacentes por los lechos de grava, lo que significa que no es preciso prever otro drenaje para esas zonas y que, por consiguiente, se pueden lograr nuevos ahorros.

- b) Ventajas en la superficie: Como con este sistema se logra un drenaje vertical, la superficie del pavimento puede ser completamente horizontal. Esto significa que los contenedores apilados están también horizontales, lo que facilita las cosas para los operadores de grúas de patio y, por consiguiente, permite obtener un mejor rendimiento.
- c) Tráfico y seguridad: Los lechos de grava no permiten el paso ocasional del tráfico portuario y ajeno. Esto tiene ventajas positivas para encauzar el tráfico y mantener una circulación predominante en un solo sentido. La cuestión es de importancia fundamental tanto para la seguridad (reducción al mínimo del riesgo de accidentes) como para la eficiencia de las operaciones portuarias, especialmente en lo que se refiere al transporte horizontal de contenedores.
- d) Posibilidad de aumentar la altura de apilamiento o de emplear grúas de apilamiento de patas más cortas: Las naves de apilamiento de contenedores no tienen que guardar ningún nivel determinado en relación con las zonas pavimentadas vecinas, puesto que éstas funcionan de forma completamente independiente. Sólo tienen que estar a un nivel más bajo, principalmente por razones de drenaje.

Si lo permite el nivel de la capa freática, las naves de apilamiento de lecho de grava pueden contruirse a niveles mucho más bajos que los de las pistas de desplazamiento de las grúas de patio, siempre que se prevean bordillos circundantes más profundos. Esto significa que se tiene flexibilidad para aumentar la altura de apilamiento por debajo de las grúas de patio o, si no hace falta, para acortar las patas de las grúas de apilamiento.

- e) Ventajas generales: Los lechos de grava para el apilamiento de contenedores van inseparablemente unidos a las grúas de patio. La combinación, sin embargo, ofrece una solución eficaz y económica para el apilamiento intensivo y bien ordenado de los contenedores, tal como se requiere en una terminal para contenedores moderna y eficientemente administrada. Partiendo del criterio de que las grúas de apilamiento de patio trabajan en una terminal para contenedores especializada, en la que las zonas de apilamiento se destinan exclusivamente a las operaciones con contenedores, la solución más económica para las superficies de apilamiento es, claramente, el sistema de lecho de grava. Se piensa que, con la introducción del sistema automatizado de terminales para



Grúas de apilamiento de neumáticos de caucho que trabajan sobre lechos de grava en el puerto de Penang.

contenedores, combinado con las grúas de apilamiento de patio, que requiere un trazado de la terminal definido y fijo a fin de poder instalar líneas de transmisión subterráneas, habrá más casos en que las naves de apilamiento de contenedores podrán construirse con lechos de grava.

De hecho, considerando las ventajas del sistema de lecho de grava, resulta interesante observar cuántas terminales para contenedores podrían haber aprovechado este sistema y no lo han hecho. Hay 115 terminales para contenedores en el mundo que utilizan grúas de patio para apilar los contenedores. Concretamente, 31 en Europa, 3 en Africa, 8 en el Oriente Medio, 32 en el Lejano Oriente y Asia, 9 en Australia, 30 en Norteamérica y 6 en Centroamérica y Sudamérica, dejando a salvo, naturalmente, cierto margen de error para tener en cuenta las instalaciones nuevas y otras instalaciones que quizá no hayan adoptado hasta recientemente el sistema de grúas de patio de pórtico. Sin embargo, sólo hay pocos casos en que se hayan adoptado lechos de grava.

No es seguro si los diseñadores de todas las terminales para contenedores mencionadas no tuvieron en cuenta el sistema de lecho de grava como posible solución para las superficies o, sencillamente, lo desconocían y decidieron utilizar en cambio pavimentos tradicionales mucho más costosos. No obstante, la investigación revela que, en la mayoría de los países, el sistema, por ser un método nuevo, resulta todavía desconocido.

3.6.7. Sistemas combinados

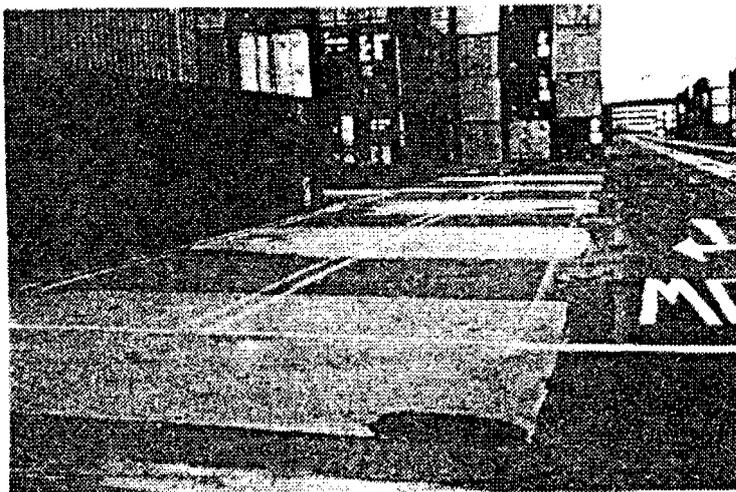
85. Con frecuencia, el resultado de algunos tipos tradicionales de pavimento en las zonas portuarias ha distado mucho de ser satisfactorio. Por ello, se ha intentado introducir diversas mejoras en los métodos de construcción existentes.

86. Un método que se ha seguido en algunos casos ha sido combinar pavimentos rígidos y flexibles, es decir, introducir pistas de estacionamiento especiales de hormigón para las piezas fundidas de las esquinas de los contenedores, con 6 metros de intervalo, y revestir de asfalto el resto de la zona. Esta solución resulta ciertamente satisfactoria para el problema de las indentaciones de las piezas fundidas, pero de una forma un tanto costosa. Además, la experiencia revela que, en esos casos, las desventajas del sistema de hormigón rígido se suman a las del sistema asfáltico flexible.

87. Por otra parte, en ese sistema combinado, se produce el estancamiento del agua de lluvia, a causa de la inevitable diferencia de asentamiento en la interfaz de las zonas de hormigón y de asfalto. Por consiguiente, se podría decir que el esfuerzo por resolver el problema de las indentaciones de las piezas fundidas de las esquinas se tradujo en la introducción de otro problema, el estancamiento del agua de lluvia, aunque no tan grave.

88. En general, este sistema combinado ha resultado ser muy costoso en comparación con otras opciones.

89. Otro método orientado a mejorar la durabilidad, la rigidez efectiva y la resistencia al aceite de la superficie de asfalto es la adición al bitumen de epoxia u otros aditivos. Con esas mezclas especiales resulta posible combinar la flexibilidad del asfalto con la rigidez del hormigón, para obtener una capa final de rodadura semirrígida para grandes cargas, que es resistente a la temperatura, el aceite y la penetración. Este método ofrece un medio satisfactorio de mejorar la durabilidad del asfalto, aunque los costos de construcción son muy altos y, en muchos casos, esas mezclas no serán tan económicas como algunas de las otras superficies disponibles y hasta pueden resultar prohibitivas desde ese punto de vista.



Sistemas combinados en los que se colocan sobre el asfalto franjas de hormigón armado a fin de evitar la indentación como consecuencia de las cargas sobre las piezas fundidas de las esquinas.



En este sistema combinado, se construyen pequeñas almohadillas de hormigón para las piezas fundidas de las esquinas. Obsérvese la diferencia de asentamiento resultante, que ha dado lugar a la formación de charcos.

Capítulo III

DISEÑO DE PAVIMENTOS DE TERMINALES PARA CONTENEDORES DE GRANDES CARGAS

1. Introducción

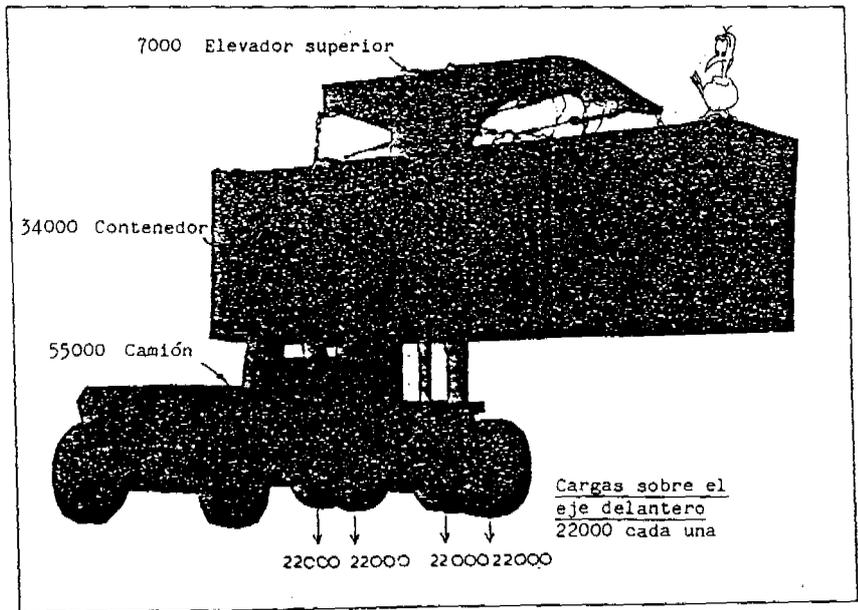
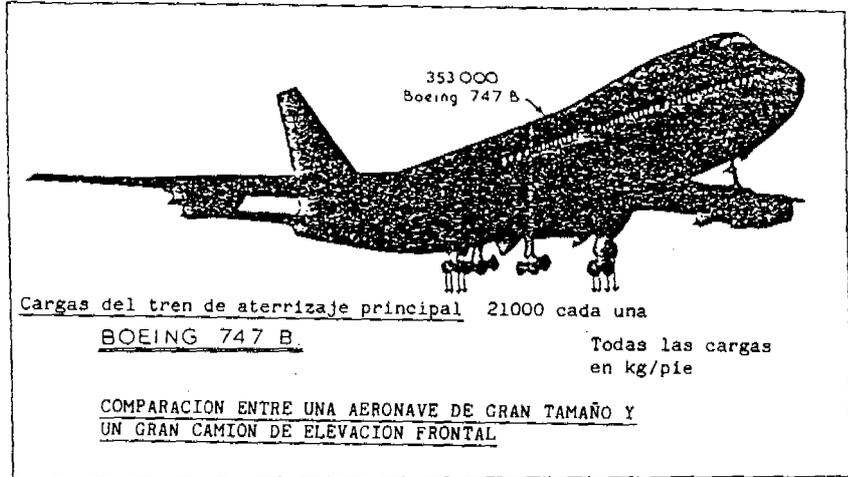
90. Es interesante observar que las cargas aplicadas a los pavimentos portuarios por el equipo de manipulación de contenedores son hoy similares en magnitud a las de las mayores aeronaves. Un Boeing 747 B pesa hasta 353.000 kg durante el despegue, cuando aplica sus fuerzas más perjudiciales para el pavimento (la carga de choque al aterrizaje es menor, ya que las alas soportan la mayor parte del peso). Casi todo ese peso es soportado por 16 ruedas situadas bajo las alas, de forma que el pavimento se ve sometido a cargas individuales de las ruedas de 21.000 kg. Un camión de horquilla elevadora delantera con un elevador telescópico superior, que manipula un contenedor de 34.000 kg y 40 pies, aplica cargas de 20.000 a 25.000 kg a través de cada una de las cuatro ruedas de su eje delantero, es decir, aplica cargas mayores que la aeronave. Los pavimentos para aeronaves se vienen diseñando según un proceso sistemático desde hace más de 30 años. Sólo durante el último decenio se ha centrado la atención en la pavimentación portuaria, y la comparación mencionada muestra que las cargas de diseño son iguales o mayores que las cargas de las aeronaves.

91. El método de diseño que se presenta aquí es el basado en el manual de pavimentos para grandes cargas de la British Ports Association. Es simple de utilizar y se ha venido utilizando para fabricar pavimentos satisfactorios y económicos durante algunos años, tanto en los países desarrollados como en los países en desarrollo. El método consiste en calcular las deformaciones resultantes de un régimen de carga determinado y determinar las deformaciones permisibles que pueden soportar los materiales de construcción de pavimentos. Se considera que un pavimento ha sido acertadamente diseñado cuando las deformaciones reales y las permisibles son similares. El manual de la BPA comprende gráficos de diseño, de forma que el trabajo numérico se reduce al mínimo y el usuario puede comparar rápidamente varios diseños que emplean distintos materiales posibles.

2. Principios de diseño

92. El principio fundamental de diseño es garantizar que el pavimento diseñado siga siendo utilizable mientras se aplique un régimen de carga especificado, durante toda su vida prevista. En la mayoría de las instalaciones de manipulación de contenedores, los pavimentos están sometidos a dos regímenes de carga. En el primero, los contenedores se almacenan en bloques, y en el segundo el equipo de manipulación se desplaza a lo largo de esos bloques. Algunos sistemas de manipulación (por ejemplo, los vehículos de pórtico alto) requieren que el equipo de manipulación entre en los bloques, y esto puede aumentar grandemente el costo del pavimento, ya que la zona de almacenamiento tiene que diseñarse para admitir ambos tipos de carga.

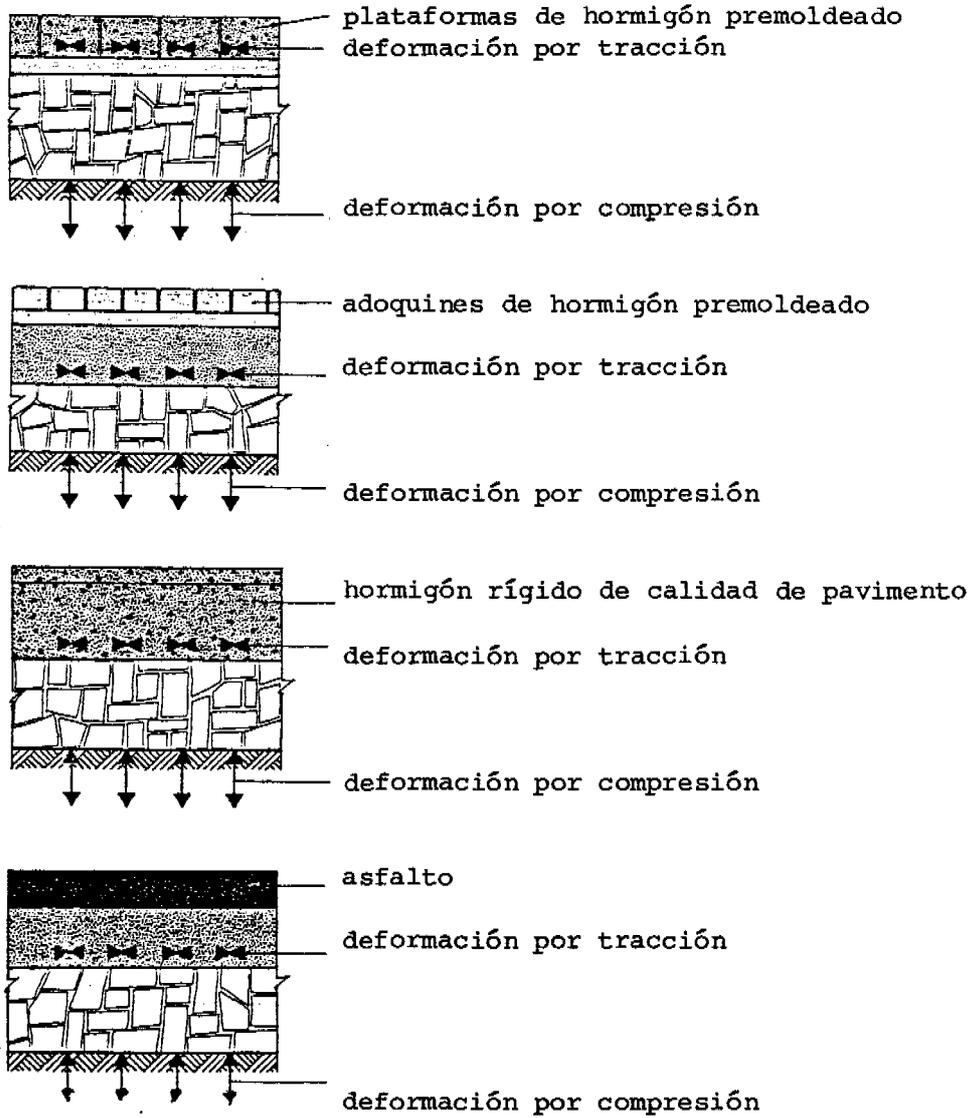
93. El incumplimiento de la esperanza de duración en los pavimentos para grandes cargas se produce por el desarrollo de una deformación por compresión vertical excesiva en el subsuelo o de una deformación por tracción horizontal excesiva en la base. La figura 4 muestra la ubicación de esas deformaciones críticas en cada una de las cuatro categorías de pavimento. La deformación



Cargas de las ruedas de un típico camión de elevación frontal que manipula un contenedor lleno, de 40 pies, en comparación con las de una aeronave de gran tamaño. Las cargas de las ruedas son similares, pero con frecuencia las del camión de elevación frontal resultan mayores.

Figura 4

Posición de las deformaciones críticas en cada uno de los cuatro tipos de pavimento



por compresión vertical del subsuelo permisible adoptada viene dada por la fórmula:

$$E_v = 21.600/N^{0,28}$$

en donde E_v es la deformación por compresión vertical del subsuelo permisible (microdeformación) y N el número de repeticiones de la carga aplicada.

94. Por ejemplo, si el pavimento se sometiera a una repetición de carga, una deformación de 21.600 microdeformaciones, o 0,0216 deformaciones, sería el máximo permisible, pero si hubiera 10.000 repeticiones, la deformación permisible sería sólo de 1.638 microdeformaciones.

95. La máxima deformación por tracción horizontal permitida viene dada por la siguiente ecuación:

$$E_h = \frac{F_c \times 993.500}{6 \times E_b^{1,022} \times N^{0,0502}}$$

en donde E_h = deformación radial horizontal de la base permisible (microdeformación),

F_c = resistencia a la compresión característica del material de base (N/mm^2),

N = número de repeticiones de la carga aplicada

cuando F_c es menor de $7 N/mm^2$, E_b viene dado por $E_b = 4.000 \times F_c$

cuando F_c es mayor de $7 N/mm^2$, E_b viene dado por $E_b = 16.800 \times F_c^{0,25}$

96. La figura 5 muestra la relación existente entre E_h y N para cuatro valores de F_c .

3. Técnica de análisis

97. A fin de determinar si un pavimento propuesto satisface los dos criterios de utilidad, es necesario determinar las deformaciones reales del pavimento en las dos ubicaciones críticas al ser sometido a una carga superficial. Las deformaciones reales se determinan por una técnica de análisis en la que cada pista de dentro del pavimento se transforma en espesor equivalente del material del subsuelo del pavimento. Esta transformación se basa en la idea de que si se sustituye una pista real del pavimento por una pista de diferente material y diferente espesor, siempre que la pista real y la transformada tengan una rigidez flexural análoga, se puede hacer un análisis exacto del pavimento. Para que dos pistas de material tengan la misma rigidez flexural, el término:

$$\frac{h^3 \times E}{1 - \nu^2}$$

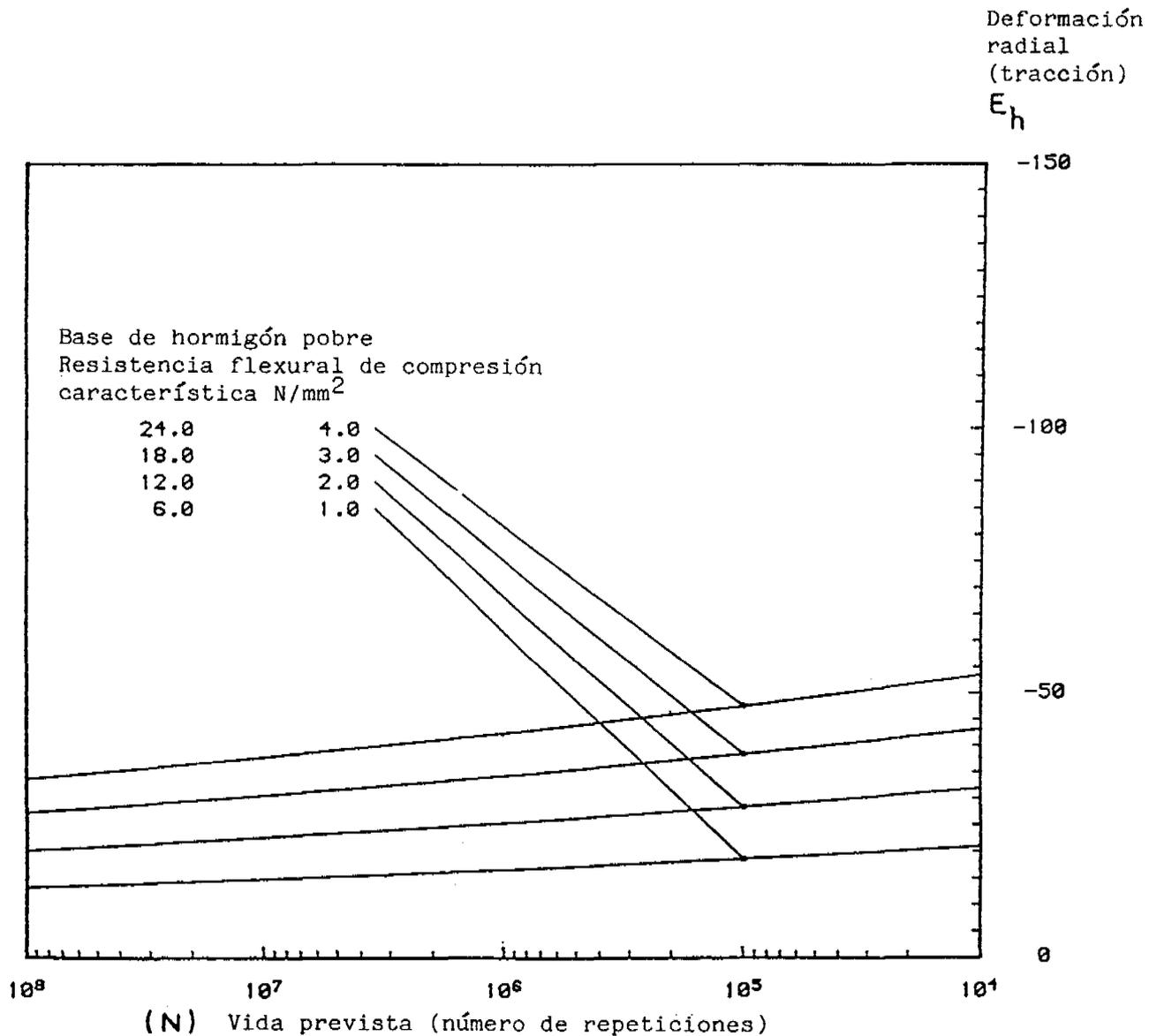
debe ser similar en cada pista, en donde E = módulo elástico, h = espesor de la pista y V = coeficiente de Poisson.

98. Así, una pista de espesor h_1 , módulo elástico E_1 y coeficiente de Poisson V_1 puede sustituirse, en términos analíticos, por un espesor h_2 de un material diferente de módulo elástico E_2 y coeficiente de Poisson V_2 :

$$h_2 = h_1 \times \sqrt[3]{\frac{E_1 \times (1 - V_2^2)}{E_2 \times (1 - V_1^2)}}$$

Figura 5

Relación entre la deformación radial y la vida prevista



99. Cuando cada pista del pavimento se ha transformado así, se calculan las deformaciones en el límite de cada pista y se comparan esas deformaciones con las deformaciones límite del material real con el que se construirá el pavimento. A partir de ahí se determina el espesor de pista necesario. Siguiendo el procedimiento de transformación, se ha sustituido el pavimento por un cuerpo isotrópico homogéneo semiinfinito equivalente, de forma que puede realizarse un análisis de Boussinesq para determinar los esfuerzos y, a partir de ellos, las deformaciones.

4. Propiedades de los materiales

100. Como los criterios de diseño gemelos y el análisis se basan en la teoría de la elasticidad (es decir, módulo elástico y coeficiente de Poisson), hay que asignar constantes elásticas a los cuatro componentes del pavimento, es decir, el subsuelo, la sub-base, la base y la superficie. En el caso del pavimento de hormigón rígido tradicional, el hormigón se considera la base y no se tiene en cuenta la superficie durante el análisis.

101. En el caso del subsuelo, es más corriente que los ingenieros se refieran a su resistencia en términos de su coeficiente de apoyo de California (California Bearing Ratio, CBR), y se han encontrado las relaciones entre el módulo elástico, el coeficiente de Poisson y el CBR.

5. Estimación de la carga aplicada

102. Se ha desarrollado un método realista de estimar los efectos perjudiciales del equipo de manipulación de contenedores, que refleja los parámetros específicos de los pavimentos de terminales para contenedores.

Esos parámetros son los siguientes:

- a) Cargas de ruedas muy pesadas de hasta 25.000 kg,
- b) Funcionamiento en zonas anchas,
- c) Dinámica intensa,
- d) Amplia variedad de tipos y tamaños de equipo.

103. Esos parámetros distinguen la pavimentación de puertos de la pavimentación de carreteras y eliminan la utilización de los métodos empíricos de diseño de los pavimentos de carreteras. La extrapolación de los procedimientos de diseño de éstas ha producido el deterioro prematuro de muchos pavimentos de terminales para contenedores, a causa de los métodos de diseño.

5.1. Cargas de ruedas muy pesadas

104. Como el método de diseño se basa en la estimación de las deformaciones permisibles y reales, se trata directamente con las cargas pesadas y no hay necesidad de sustituir una carga pesada real por una normal. A los elementos de la planta se les asigna una clasificación de daños del siguiente modo. Para cada rueda de un lado de la maquinaria, el efecto perjudicial se calcula a partir de la ecuación:

$$D = \left(\frac{R}{12.000} \right)^{3,75} \times \left(\frac{P}{0,8} \right)^{1,25}$$

en donde D = daño al pavimento, R = carga de rueda (kg) y P = presión de neumático (N/mm²).

105. Esta ecuación emplea la cuarta regla de daños de potencia, que es una expresión de la sensibilidad relativa de los daños del pavimento a la carga aplicada, la presión aplicada, y el número de repeticiones de la carga y de la presión. La ecuación da el daño al pavimento, D, en unidades definidas durante el desarrollo del método de diseño. La unidad es la carga de rueda en la zona portuaria (CRZP), y un efecto perjudicial de una CRZP puede definirse como el daño causado en un pavimento por una repetición de una rueda de 12.000 kg que aplica una presión de contacto de 0,8 N/mm². Se estiman las CRZP para cada rueda de un lado de la maquinaria (algunos elementos de la maquinaria tienen cargas de ruedas diferentes en cada lado, en cuyo caso debe utilizarse el más pesado), y se asigna a la maquinaria un índice de clasificación de carga (ICC) de acuerdo con la relación que aparece en el cuadro 6. Un ICC de A indica un elemento relativamente no perjudicial de la maquinaria, y los vehículos de carretera tradicionales se incluyen en esa categoría. Los límites del ICC se han elegido de forma que la maquinaria de manipulación de los materiales más pesados actualmente utilizada quede dentro de las categorías F, G y H, según la forma en que se utilice.

Cuadro 6

Relación entre los valores de la carga de las ruedas en la zona portuaria (CRZP) y el índice de clasificación de la carga (ICC)

Valor de la CRZP	ICC
Menos de 2	A
2 - 4	B
4 - 8	C
8 - 16	D
16 - 32	E
32 - 64	F
64 - 128	G
128 - 256	H

5.2. Funcionamiento en zonas anchas

106. La relación entre la anchura de la rodadura de un vehículo y la anchura real del callejón que opera determina el número de repeticiones a que se ve sometido un punto aislado del pavimento. En consecuencia, al estimar el

número de repeticiones para el que debe diseñarse un pavimento, se realiza una reducción del total de desplazamientos en el callejón, del siguiente modo: cuando la anchura real del callejón es mayor que 5,5 veces la anchura de rodadura, se considera que, en un punto determinado, sólo se produce una tercera parte de los desplazamientos; cuando la anchura real del callejón está comprendida entre 5,5 y 3 veces la anchura de rodadura, se prevé en el diseño la mitad de los desplazamientos, y cuando la anchura real de la calle es menor de 3 veces la anchura de rodadura, el número de repeticiones previsto es igual al número de desplazamientos. Esas reducciones se basan en observaciones de la distribución lateral de la maquinaria que se desplaza por callejones de diferente anchura.

5.3. Dinámica pesada

107. Al estimar el valor de la CRZP de cada rueda, es necesario suponer una carga de rueda, R (kg). Esta carga debe tener en cuenta el efecto de la transferencia de masa provocada por la dinámica. Se han definido los factores dinámicos, y las cargas estáticas de las ruedas se multiplican por esos factores antes de calcular la CRZP. El cuadro 7 muestra los factores dinámicos adoptados para diversos tipos de maquinaria y diversas condiciones de funcionamiento. Cuando se den dos o tres de las condiciones de funcionamiento simultáneamente, los factores dinámicos deberán multiplicarse conjuntamente, antes de multiplicar la carga estática.

108. Hay que observar que el efecto de la dinámica es especialmente grave, y que los factores sólo deben aplicarse simultáneamente cuando hay razones concretas para hacerlo. Los factores dinámicos pueden afectar al espesor del pavimento hasta en un 50%. Cuando pueden determinarse previamente los desplazamientos de los vehículos, se podrán diseñar zonas considerables del pavimento sin efectos dinámicos.

Cuadro 7

Factores dinámicos para diferentes categorías de maquinaria

Tipo de maquinaria	Tipo de operación			
	Frenado	Virajes	Aceleración	Superficie desigual
Camiones de elevación frontal	1.3	1.4	1.1	1.2
Vehículos de pórtico alto	1.5	1.6	1.1	1.2
Camiones de elevación lateral	1.2	1.3	1.1	1.2
Remolcadores y remolques	1.1	1.3	1.1	1.2

5.4. Amplia variedad de tipos y tamaños de equipo

109. El método de diseño, al basarse en un análisis de elasticidad orientado a la fatiga, no se limita a ninguna clase determinada de maquinaria. Hasta el

equipo no desarrollado aún podrá clasificarse de un modo relativamente fácil. Un factor que se tiene en cuenta también es la proximidad de las ruedas. La adición de deformaciones atribuibles a ruedas estrechamente espaciadas produce un aumento importante del espesor del pavimento para ciertos tipos de maquinaria, por ejemplo, los camiones de elevación frontal con dos o tres ruedas en cada extremo del eje delantero. En el caso de ruedas empernadas una junto a otra, las dos o tres ruedas se consideran como una sola, de carga igual a la suma de las dos o tres. En el caso de ruedas en tándem, el cuadro 8 indica los factores de proximidad por los que se multiplican los valores de la CRZP para cada rueda, antes de sumarlos para determinar el ICC. Los factores del cuadro 8 dependen tanto del espaciamiento longitudinal de las ruedas como, para una sensibilidad menor, del valor de la CRZP de la maquinaria.

Cuadro 8

Factores de proximidad para diversos espaciamentos longitudinales de las ruedas y diversos valores de la CRZP

Espaciamiento longitudinal de las ruedas (mm)	Factores de proximidad para diversos efectos perjudiciales							
	2 CRZP	4 CRZP	8 CRZP	16 CRZP	32 CRZP	64 CRZP	128 CRZP	256 CRZP
500	1.94	1.95	1.96	1.96	1.97	1.98	1.98	1.98
1 000	1.80	1.84	1.85	1.86	1.87	1.89	1.92	1.93
2 000	1.40	1.45	1.51	1.58	1.62	1.64	1.72	1.75
4 000	1.00	1.01	1.05	1.09	1.14	1.21	1.28	1.33

6. Cálculo de la vida prevista de un pavimento

110. La vida prevista de un pavimento es el número de desplazamientos de la carga crítica que el pavimento soportará antes de volverse inutilizable.

111. La carga crítica es la carga del contenedor que pasa por el puerto y que causará el máximo efecto perjudicial, es decir, el efecto perjudicial crítico. Este es consecuencia tanto del valor de la carga como de la frecuencia con que se repite, es decir, del número de contenedores con esa carga que pasan por el puerto en un período determinado. Así, el efecto perjudicial crítico puede determinarse del siguiente modo: el efecto perjudicial causado por las cargas de las ruedas, teniendo en cuenta cada carga posible de los contenedores (es decir, desde cero para el equipo descargado hasta 34.000 kg para un contenedor lleno de 40 pies, con el máximo peso bruto permisible, o sea, 35 clases de cargas en grados de 1.000) se multiplica por la frecuencia porcentual correspondiente con que cada una de esas cargas de contenedores pasará por la terminal.

112. La carga de contenedor que causa el efecto perjudicial proporcional mayor es la carga crítica, y el efecto perjudicial real causado como consecuencia de esa carga crítica es el efecto perjudicial crítico. Sin embargo, antes de hacer lo que antecede, es esencial que se determinen los porcentajes de contenedores de diferentes pesos que pasan por el puerto, y esos porcentajes pueden obtenerse mediante un estudio sencillo y la aplicación de estadísticas simples.

113. Como la vida prevista, V , del pavimento equivale al número de desplazamientos de la carga crítica, se calcula del siguiente modo:

$$V = \frac{\text{Número total de desplazamientos de la maquinaria} \times \text{Efecto perjudicial medio}}{\text{Efecto perjudicial crítico}}$$

114. Para calcular el efecto perjudicial medio, se multiplica cada uno de los 35 efectos perjudiciales por el valor porcentual correspondiente, y la suma de esos 35 productos, dividida por 100, es el efecto perjudicial medio.

7. Utilización de los gráficos de diseño

115. El manual de la BPA contiene una colección de 120 gráficos de diseño que permiten al usuario comparar rápidamente las distintas soluciones. Este método tiene ventajas e inconvenientes. La ventaja principal es el ahorro de tiempo, que favorece la comparación de un número mayor de alternativas. También es posible examinar la sensibilidad de un diseño determinado a los cambios en la vida prevista, la resistencia del suelo o la magnitud de la carga. Por ejemplo, los gráficos muestran que cambios relativamente grandes del número de repeticiones (por ejemplo, el doble o la mitad) afectan sólo en unos milímetros al espesor del pavimento, mientras que pequeños cambios porcentuales de la magnitud de la carga tienen una influencia más importante en el espesor del pavimento. Otra ventaja es la eliminación práctica de la posibilidad de grandes errores. Es difícil imaginar cómo podría equivocarse un usuario en más de unos milímetros.

116. En cambio, el cálculo produce una gran exactitud aparente, pero siempre existe el miedo de haber cometido un error de un orden de magnitud. En efecto, los gráficos de diseño ofrecen un espacio de diseño por el que viaja el usuario, dándose cuenta, cada vez que se aproxima a una frontera, de que está operando en una situación poco ortodoxa.

117. Los gráficos de diseño presentan algunos inconvenientes. Son costosos de elaborar y, en el caso del manual de la BPA, esto puede haber disuadido de adquirirlos a algunos diseñadores ocasionales (cuando son probablemente los que más se beneficiarían).

118. Además, sólo pueden presentarse soluciones para una combinación discreta de variables de diseño. En el diseño de pavimentos, éste es un problema menor que el que podría ser en otras esferas, ya que muchos de los insumos del diseño no son más que adivinaciones con conocimiento de causa. Principalmente, se requiere la resistencia del suelo expresada en coeficiente de apoyo de California (CBR). Este coeficiente mide la resistencia al esfuerzo cortante del material. En muchas situaciones portuarias, el CBR varía durante la vida del pavimento y es difícil predecir cómo lo hará.

Además, el gráfico de diseño del pavimento depende de que se conozca la forma de utilizar el equipo de manipulación y de la forma en que se comporten los neumáticos. Un equipo idéntico puede ser utilizado de modo diferente en dos localidades. Puede haber límites de velocidad impuestos por el puerto, frenados más bruscos o zonas de virajes. Además, las especificaciones de los neumáticos se cambian con frecuencia, y no es raro que un vehículo tenga dos o más neumáticos totalmente diferentes. Los neumáticos varían entre los de un tipo teóricamente rígido por completo, en el que un aumento pasajero de la carga se manifiesta en un cambio de la presión sin cambio en la superficie de contacto, y un tipo de neumático teóricamente flexible por completo, en el que ocurre lo contrario.

119. Teniendo en cuenta todos los factores que concurren, se considera que los gráficos de diseño son el medio más apropiado de presentar un método de diseño para los pavimentos destinados a cargas pesadas. En más de 40 países se utilizan hoy más de 500 ejemplares del manual de la BPA, y la información recogida indica que el método ofrece soluciones plausibles que permiten a los diseñadores locales aprovechar plenamente sus materiales locales.

120. En la figura 6 se muestra un ejemplo de gráfico de la BPA.

121. La forma más directa de utilizar ese gráfico consiste en comenzar en un punto A, lo que significa que se necesita cierto número de repeticiones de la carga prevista.

122. Si no hay datos disponibles firmes, se sugiere que una cifra de 2.000.000 de repeticiones sería suficiente para la mayoría de los pavimentos, y esto correspondería a una vida de 25 años en unas instalaciones típicas de manipulación de tráfico intensa. Desde A, se traza una línea vertical hasta una de las cuatro curvas del hormigón pobre, casi rectas (por ejemplo, hasta el punto B). Luego se traza una línea horizontal desde B hasta la curva del índice de clasificación de carga apropiado (ICC) en C (véase la sección 5 del presente capítulo para la determinación del ICC). Entonces se proyecta verticalmente una línea desde C, a través de una familia de curvas situadas en la casilla inferior. También se traza una línea horizontal desde E, que corresponde al módulo elástico del material de base del pavimento. Esta línea se encuentra con la línea vertical anterior, dentro de la familia de curvas, en el punto D. Cada una de las curvas de la familia corresponde a un perfil de espesor de la base. El punto D representa el espesor de base requerido.

8. Pendientes de la superficie

123. Con excepción de los lechos de grava, con los que puede lograrse un drenaje vertical, en todos los demás tipos de pavimentos debe haber cierto gradiente superficial para transportar el agua de lluvia a las alcantarillas. Unas pendientes acusadas garantizarán el escurrimiento superficial efectivo del agua de lluvia, pero en cambio pueden causar perturbaciones de funcionamiento. Esto resulta especialmente importante con respecto al uso de remolcadores, y especialmente del sistema de remolques múltiples, ya que las pendientes más acusadas requieren mayor potencia en el tractor. La flexibilidad del trazado se ve dificultada a veces por esas pendientes en diferentes direcciones. Además, varias pendientes empinadas en los patios de apilamiento de contenedores se traducirán en una situación en que los

Figura 6

Gráfico de diseño típico de pavimentos portuarios del manual de la BPA

Gráficos de tensión de la base

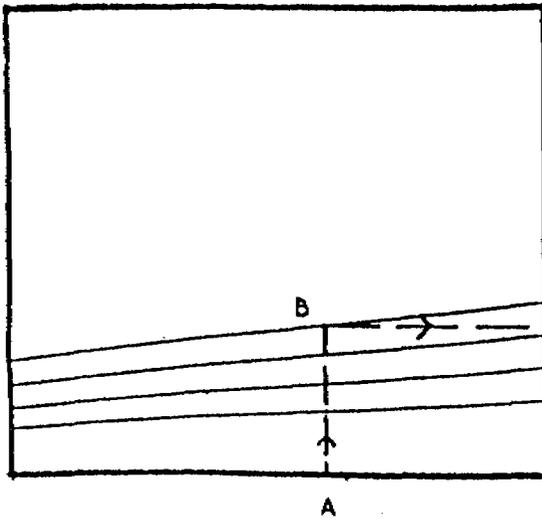


Gráfico de carga

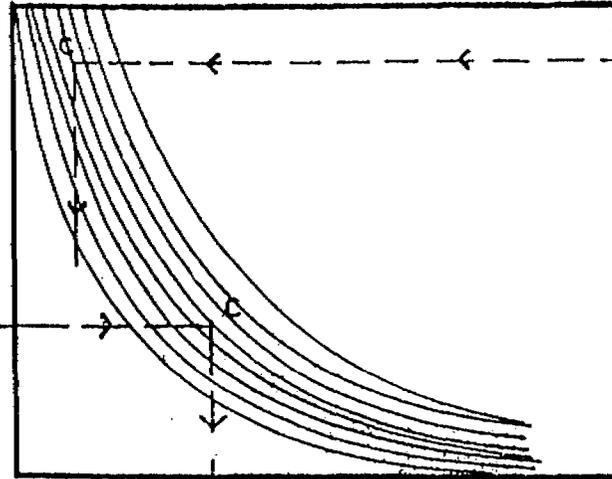


Gráfico de compresión del subsuelo

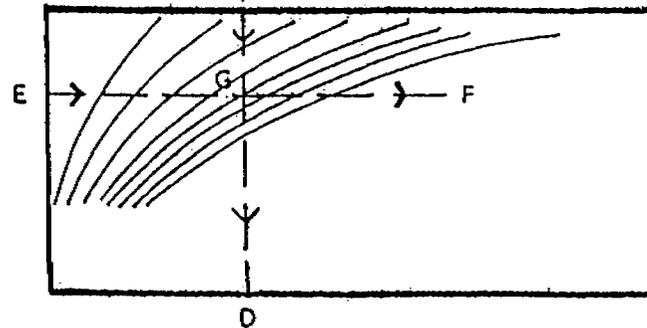
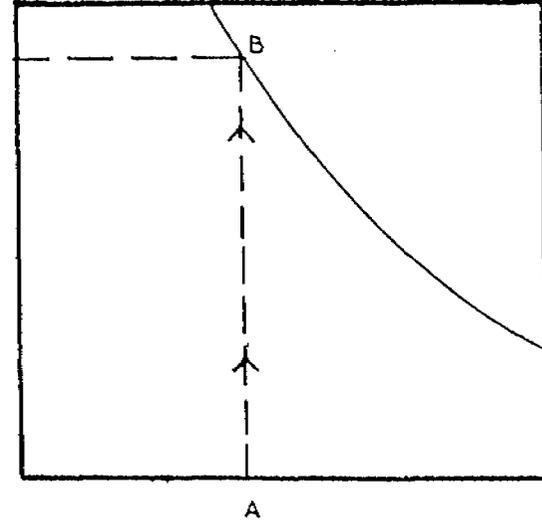
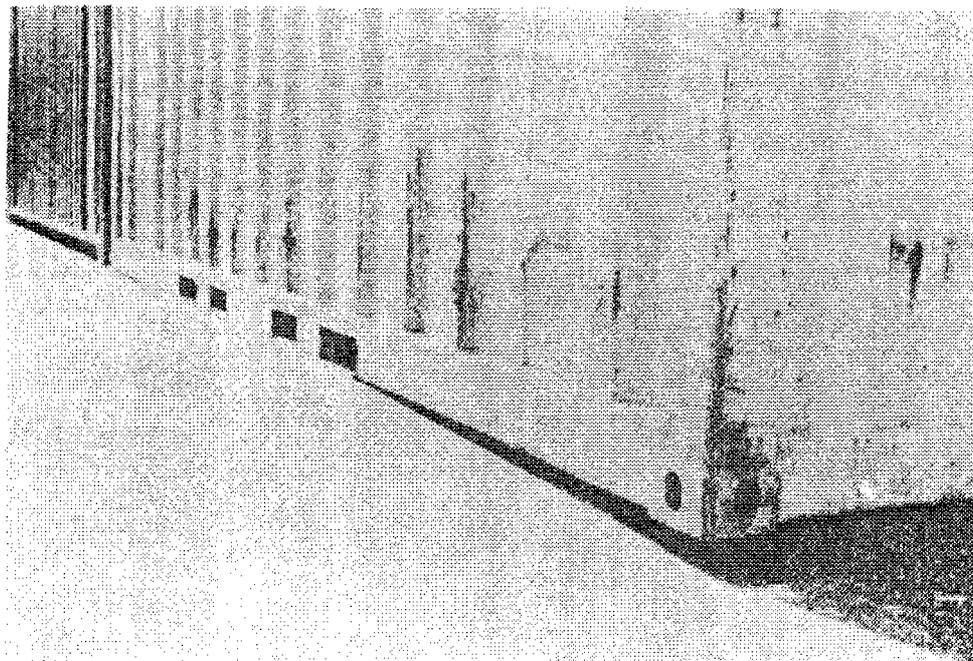
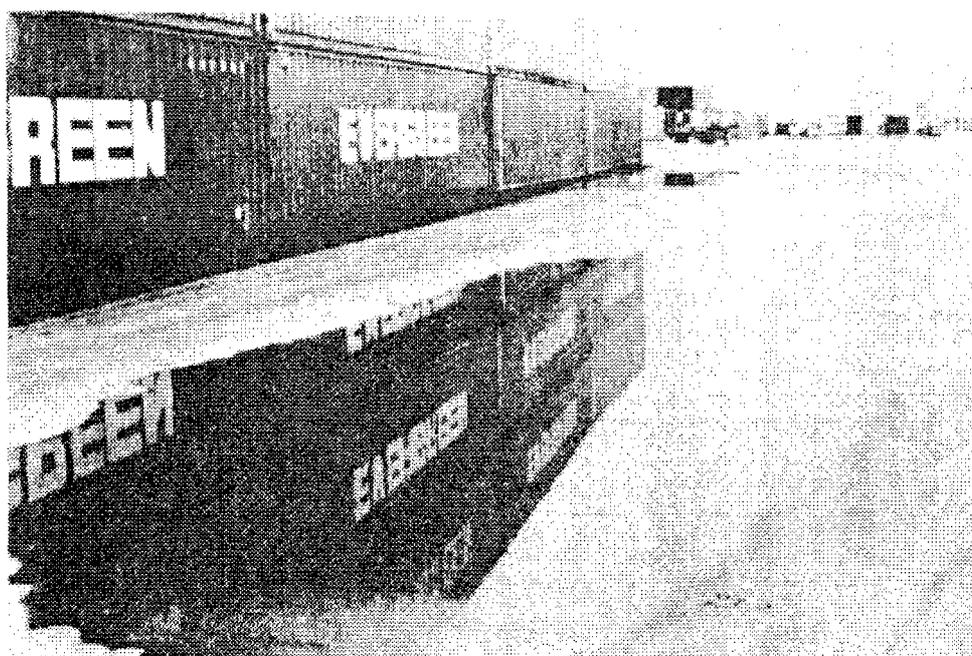


Gráfico del espesor de la base



Los cambios de pendiente de la superficie hacen que los contenedores queden en voladizo, con riesgo de daños.



La falta de pendientes adecuadas produce la formación de charcos.

contenedores no se apoyarán debidamente en sus cuatro piezas fundidas de las esquinas, y en algunos casos pueden quedar en voladizo en una parte de su longitud. En cambio, las superficies planas causarán el estancamiento del agua, lo que a su vez ocasionará perturbaciones de funcionamiento.

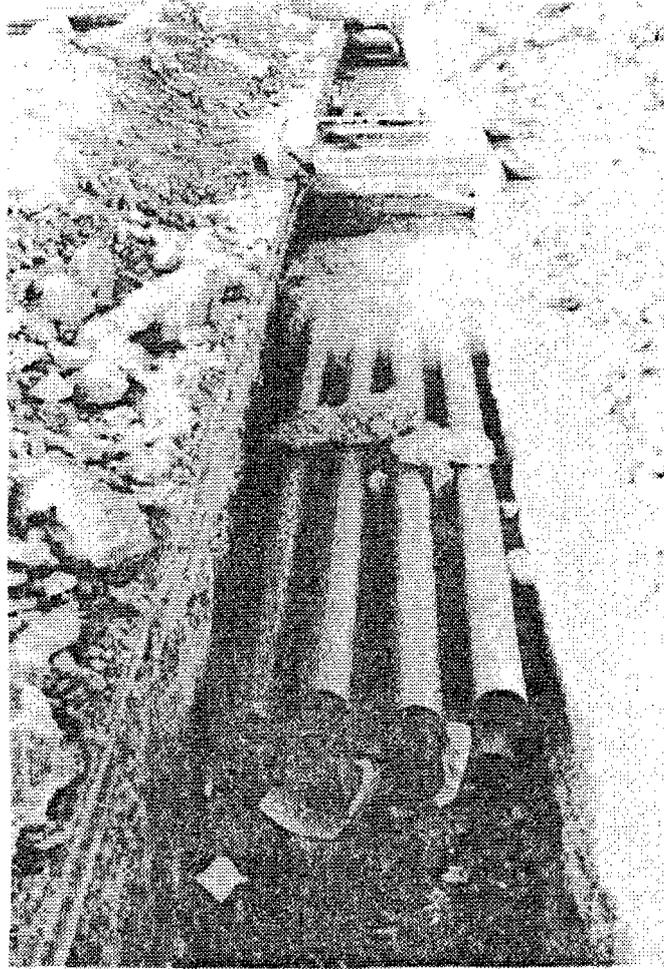
124. De hecho, las pendientes superficiales representan una transacción entre lo que es posible desde el punto de vista de la ingeniería civil y lo que aceptará el diseñador del equipo.

125. La práctica ha demostrado que pavimentos de gradientes de alrededor del 1% (pero no inferiores) han funcionado perfectamente en las terminales para contenedores, desde todos los puntos de vista.

9. Prestación de servicios subterráneos

126. Uno de los requisitos previos para el funcionamiento adecuado de una terminal para contenedores es la prestación satisfactoria de diversos servicios, por ejemplo, agua, teléfono y electricidad. Esos servicios deben distribuirse en diversas ubicaciones de toda la terminal e, inevitablemente, tienen que interferir las operaciones de ésta. Es igualmente importante que esos servicios no sufran daño alguno como consecuencia de las operaciones. La única forma de impedir que esto suceda consiste en instalar los servicios necesarios de tal forma que la interferencia con las superficies sobre las que se realicen las operaciones de la terminal se reduzcan al mínimo. La práctica ha demostrado que la mejor forma de lograrlo es colocar todos los cables o tubos en conductos para servicios. Este sistema garantiza la fácil accesibilidad a los servicios para mantenimiento, reparaciones o prolongaciones, sin necesidad de alterar el pavimento ni de causar molestias o nuevos costos al renovar la superficie. Las conducciones para servicios en forma de canales de hormigón cubiertos son muy convenientes, pero han resultado muy costosas. Además, las cubiertas tienen que ser a veces tan pesadas que levantarlas no es tarea fácil. Otro tipo de conductos, que ha resultado ser mucho más barato y conveniente, es el que utiliza tubos de plástico rodeados de hormigón pobre. Los cables o tuberías de agua pueden pasar por los tubos de plástico de mayor diámetro, pero esto sólo se puede hacer si se prevén pozos de visita a distancias apropiadas y en los puntos en que los conductos cambian de dirección. Con este sistema, sin embargo, se recomienda siempre instalar hasta un 40% de conductos de plástico de reserva adicionales para futuras prolongaciones. Si los tubos de plástico se colocan a la profundidad apropiada bajo los pavimentos y se protegen con el necesario revestimiento de hormigón, cabe esperar que el sistema de conducciones resultará satisfactorio y no planteará problemas. Debe prestarse especial atención a la protección de las tuberías de agua, ya que toda filtración importante de agua bajo la superficie puede cambiar las propiedades del subsuelo y producir el hundimiento del pavimento. Esto es muy peligroso, porque ese hundimiento, en la mayoría de los casos, se producirá repentinamente al ser sometido el pavimento a la carga de un elemento de equipo móvil.

127. En las terminales para contenedores, se recomienda que las cubiertas de conductos y pozos de visita, fosas de captación de drenaje, etc., se diseñen para soportar cargas de ruedas de 30 toneladas, a menos que sea preciso tener en cuenta cargas superiores, por razones especiales.



La canalización de los servicios subterráneos facilita el mantenimiento y permite prever futuras ampliaciones.

Capítulo IV

VIGILANCIA REGULAR DE LOS PAVIMENTOS

128. En el caso de muchos tipos de pavimentos, una vez que comienza el deterioro, su inutilidad total es inminente y se produce una rápida degradación en un corto intervalo, especialmente cuando el tiempo meteorológico es riguroso. Si se adoptan oportunamente medidas correctoras, se puede prolongar la vida útil del pavimento por un costo mínimo.

129. Cabe esperar lógicamente que un pavimento bien diseñado y construido siga siendo utilizable durante el período previsto por el diseñador. Sin embargo, hasta un pavimento bien diseñado puede resultar dañado prematuramente por un exceso de carga o por haber sido sometido a esfuerzos internos anormales con tiempo especialmente riguroso. Así pues, un pavimento puede seguir siendo utilizable durante toda su vida prevista o sólo durante una parte de ella.

130. En consecuencia, una autoridad prudente deberá realizar con intervalos regulares un estudio del estado de sus zonas pavimentadas, a fin de detectar cualquier deterioro en una fase temprana. La frecuencia de la vigilancia variará con la carga de trabajo de la instalación, la ubicación de ésta y condiciones locales como las variaciones climáticas y otros factores.

131. El estado de los pavimentos puede definirse en relación con dos categorías:

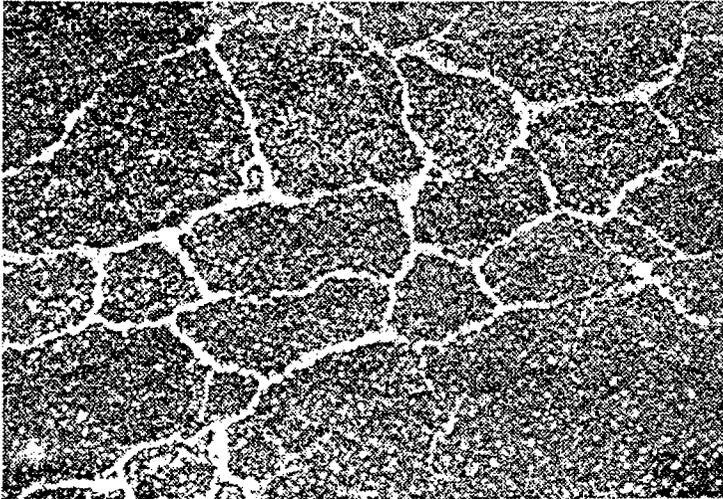
- a) Estado del material,
- b) Grado de formación de surcos o asentamiento localizados.

132. Normalmente, el estudio del estado del material equivale sencillamente a detectar la importancia del agrietamiento y cuarteado de la superficie, lo que no es más que una inspección visual. Puede ser difícil evaluar el estado de las pistas inferiores del pavimento en lo que se refiere al agrietamiento, y por consiguiente habrá que hacer hipótesis prudentes. No obstante, si existe una firme sospecha de un deterioro anormal de las pistas inferiores del pavimento, deberán utilizarse muestras o agujeros de prueba para verificar su estado real. Los estudios del estado de los materiales se han normalizado, de forma que pueden utilizarse factores normalizados de estado para determinar el agrietado y cuarteado. En la figura 7 se muestran diversos grados de agrietamiento, y los factores correspondientes de estado son los siguientes:

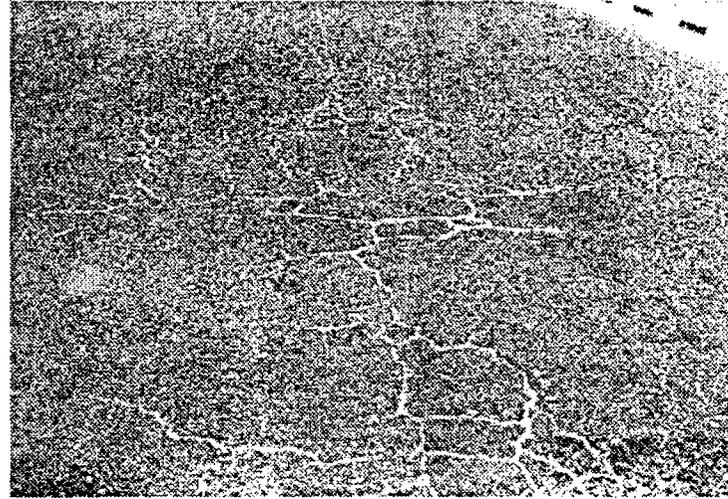
<u>Estado del material</u>	<u>Factores de estado</u>
Como nuevo	1.0
Ligeramente agrietado	0.8
Considerablemente agrietado	0.5
Totalmente agrietado, fisurado o cuarteado	0.2

Figura 7

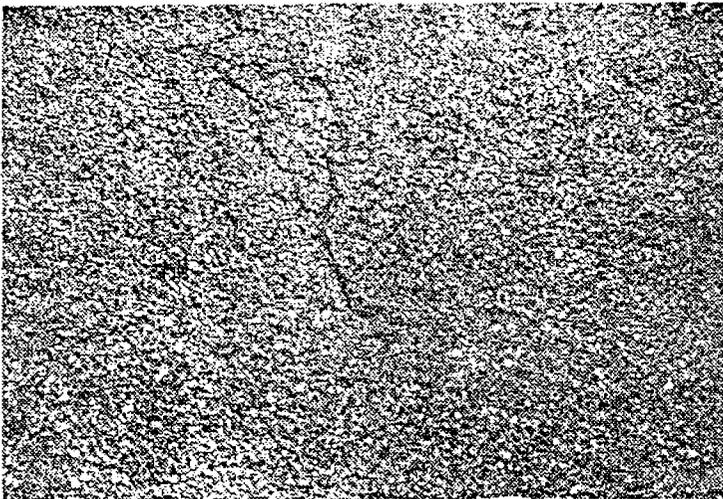
Diversos grados de agrietamiento



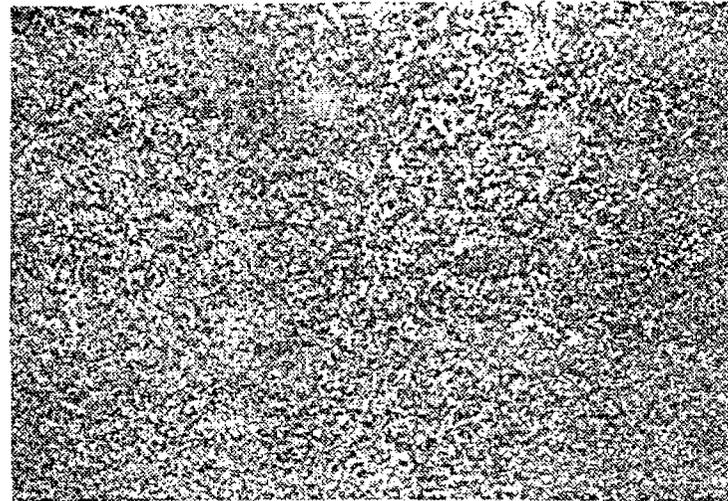
Totalmente agrietado



Considerablemente agrietado



Ligeramente agrietado



Como nuevo

133. El estudio para determinar el grado de formación de surcos o asentamiento localizados se ha normalizado también.

134. Se recomienda que, inmediatamente después de la construcción de una zona nueva, se realice un estudio del nivel, utilizando instrumentos de un grado de exactitud de 1 mm. Las posiciones de nivelado deberían ser las siguientes:

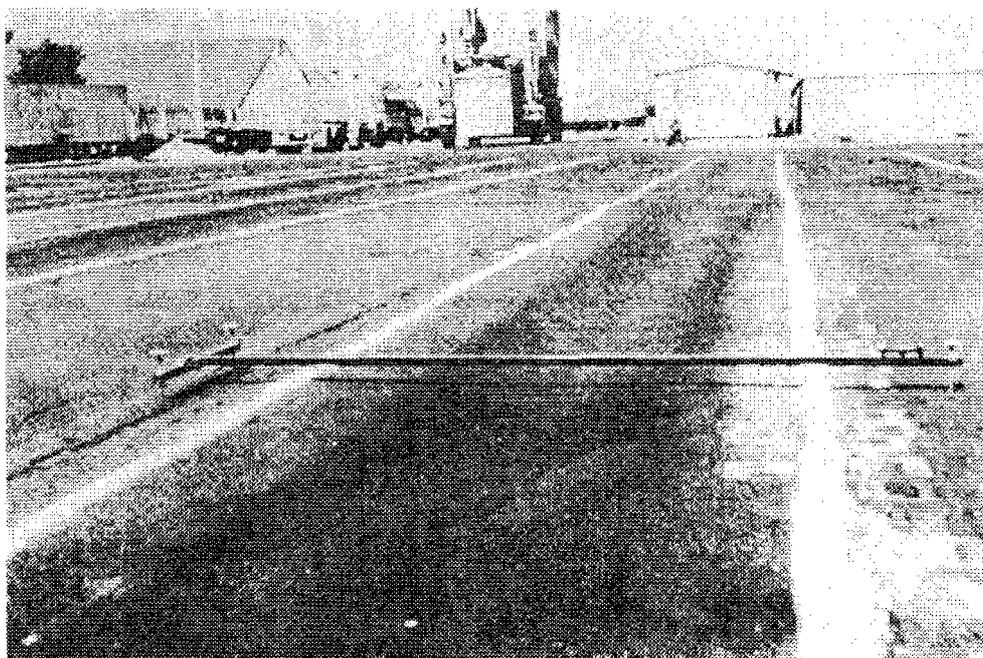
- a) Plataformas de hormigón rígido y de hormigón premoldeado: en cada una de las esquinas de cada nave o plataforma,
- b) Pavimentación de adoquines bituminosos o de hormigón: un nivel por cada 100 m² de pavimento, en lugares donde sea posible volver a medirlo más adelante.

135. En el caso de la pavimentación de adoquines bituminosos o de hormigón, debe realizarse un estudio de nivel secundario inmediatamente después de la construcción. Deben medirse los niveles en una o más zonas representativas de 10 m X 10 m, utilizando una retícula de 1 m. La formación de surcos y el asentamiento se miden en niveles situados bajo un canto recto de 3 m. Si un pavimento se ha deformado, deberán tomarse muestras para determinar qué pistas del pavimento se encuentran afectadas.

136. Los factores correspondientes de estado que deben aplicarse a los diversos grados de formación de surcos o asentamiento localizados son los siguientes:

<u>Grado de formación de surcos o asentamiento localizados</u>	<u>Factor de estado</u>
0 - 10 mm	1.0
11 - 20 mm	0.9
21 - 40 mm	0.6
40 + mm	0.3

137. Los factores de estado mencionados para ambos casos no sirven para ningún fin determinado en la etapa de vigilancia. Sin embargo, desempeñan un papel importante en el diseño de obras de reparación, ya que se utilizan para determinar la resistencia residual que el diseñador aprovechará para que pueda realizarse una obra de refuerzo de menor costo.



Determinación de la deformación del pavimento por debajo de un canto recto de 3 m.

Capítulo V

MANTENIMIENTO, REHABILITACION Y MEJORAMIENTO DE PAVIMENTOS

138. Aunque el costo inicial desempeña un papel importante en la elección del tipo de pavimento en una situación determinada, hay que reconocer que los costos de mantenimiento ordinarios tienen la misma importancia. Ha habido muchos ejemplos en que los costos de mantenimiento durante toda la vida útil prevista del pavimento han excedido mucho del costo inicial.

139. Como ocurre con muchos tipos de estructuras, la clave para un mantenimiento mínimo del pavimento es la selección, diseño y construcción apropiados. A pesar de todas las medidas que se toman para garantizar que la construcción original del pavimento se realizará debidamente, hay que prever que hará falta algún mantenimiento. Debe subrayarse que cuando los costos de mantenimiento se hacen considerables hay que pensar en una rehabilitación o mejoramiento importantes, o incluso en la sustitución total del pavimento.

140. Una definición corriente de mantenimiento es "la actuación diaria para mantener unas instalaciones en buen estado de funcionamiento". Sin embargo, las competencias de un "administrador de pavimentos de terminal para contenedores" deben ampliarse más allá de la interpretación estricta de la definición que antecede. Sus esfuerzos no deben limitarse a mantener las instalaciones en buen estado de funcionamiento, ocupándose de las deficiencias. Debe realizar muchas otras tareas, como evitar las reparaciones importantes que afectarán a las operaciones de la terminal y garantizar o incluso ampliar la vida útil prevista del pavimento.

141. La clave de ello es la vigilancia regular del pavimento, brevemente examinada en el capítulo anterior. De hecho, la "vigilancia regular" es el punto de partida de un "programa de gestión de pavimentos" acertado que debe ejecutarse desde el día siguiente a la terminación de la construcción del pavimento. Este programa puede describirse del siguiente modo:

- a) Vigilancia regular,
- b) Mantenimiento preventivo,
- c) Reparación de daños y averías,
- d) Rehabilitación o mejoramiento,
- e) Demolición y reconstrucción.

142. Las cinco fases mencionadas comprenden todas las etapas por las que pasará un pavimento durante su ciclo vital. Por consiguiente, la ejecución adecuada y con éxito de esas cinco actuaciones determinará en gran medida la duración de la vida útil del pavimento.

143. La vigilancia regular conducirá al mantenimiento preventivo. Este garantizará que se observe cualquier tendencia al deterioro, y el "administrador del pavimento" podrá adoptar entonces pequeñas medidas correctoras, evitando así reparaciones importantes en una etapa ulterior. Por consiguiente, el mantenimiento preventivo consiste en impedir las

interrupciones, adoptando medidas correctoras antes de que pueda producirse una costosa perturbación de las operaciones. Desde hace mucho tiempo se reconoce que el mantenimiento preventivo es sumamente importante, no sólo para reducir los costos totales de mantenimiento y aumentar la fiabilidad de las instalaciones, sino también para salvaguardar e incluso ampliar la vida útil prevista de un pavimento de terminal.

144. En cambio, si no se realiza una vigilancia regular o si esa vigilancia no se realiza en absoluto, la fase de mantenimiento preventivo puede resultar demasiado corta o ser incluso inexistente, y tendrán que hacerse obras de reparación antes de tiempo. Además, si no se reparan debidamente los daños y averías, la necesidad de rehabilitación o mejoramiento puede surgir mucho antes de lo que se previó originalmente. Por otra parte, si no se reconoce a tiempo la necesidad de la rehabilitación o mejoramiento y se retrasa el refuerzo de un pavimento existente, la demolición y reconstrucción de ese pavimento puede ser la única opción.

145. De lo que antecede se deduce con claridad que cada una de las cinco fases del "programa de gestión de pavimentos" tiene influencia en todas las fases restantes y que todas esas fases tienen influencia directa en la vida útil de los pavimentos de las terminales y, por deducción, en la de la terminal misma. Por consiguiente, los explotadores de terminales deben considerar el mantenimiento de su superficie tan seriamente como el mantenimiento del equipo de manipulación.

146. Las razones para el deterioro de una terminal para contenedores pueden incluirse en los siguientes epígrafes:

- a) Edad,
- b) Sobrecarga y mal uso,
- c) Intemperie,
- d) Asentamiento,
- e) Accidentes,
- f) Pavimento instalado con insuficiente atención,
- g) Elección equivocada del pavimento.

147. Las razones más corrientes para la rehabilitación o mejoramiento de los pavimentos de una terminal para contenedores son las siguientes:

- a) El pavimento se ha vuelto inutilizable,
- b) Cambios de funcionamiento: equipo más pesado,
- c) Cambios de funcionamiento: revisión de niveles o de trazado,
- d) Mejoramiento de las propiedades de la superficie, por ejemplo, en lo que se refiere a derrapes y penetración del agua.

148. La rehabilitación del pavimento requiere que se evalúe el estado del pavimento existente, de forma que pueda aprovecharse su resistencia residual. Normalmente resulta rentable utilizar el pavimento existente como importante componente estructural del nuevo pavimento.

149. A veces puede darse nueva vida a un pavimento quitando la pista superior y sustituyéndola por materiales análogos o distintos, de espesor análogo. Aunque es poco probable que este método proporcione una resistencia adicional importante, puede ofrecer una solución de costo muy bajo en los casos en que las pistas superficiales existentes estén dañadas y las otras pistas sean satisfactorias. Sin embargo, la forma más rentable de reforzar un pavimento es por lo común la técnica de superposición. La principal desventaja de la superposición es que se eleva el nivel de la superficie del pavimento, de forma que los drenajes, bordillos y otros accidentes requerirán atención.

150. Una vez evaluada la resistencia residual del pavimento, la técnica de diseño de superposición debe ser capaz de seleccionar el espesor y las propiedades de los materiales de refuerzo. La técnica de diseño de superposición que se sugiere en esta monografía es la que se describe en el manual de la BPA, que se basa en el "método de análisis componencial y el procedimiento de transformación de pavimentos".

151. Se puede prever que la operación de refuerzo prolongue la vida del pavimento o permita que un pavimento existente soporte un plan de manipulación más perjudicial. Esta segunda razón para reforzar un pavimento es de especial pertinencia en las terminales para contenedores, ya que es corriente que la evolución reciente de los planes de manipulación requiera pavimentos más firmes. El cuadro 9 presenta distintas técnicas posibles de sobreposición sugeridas para cuatro tipos de pavimentos existentes.

Cuadro 9

Técnicas posibles de superposición sugeridas para
cuatro tipos de pavimentos existentes

Plataformas de hormigón	Adoquines de hormigón	Hormigón rígido	Asfalto
1. Levantar las plataformas, volver a cribar la arena y colocar de nuevo las plataformas	Levantar los adoquines, volver a cribar la arena y colocar de nuevo los adoquines	Colocar un revestimiento delgado aglutinante sobre las losas	Colocar más asfalto
2. Levantar las plataformas, reforzar la base y volver a colocar las plataformas	Levantar los adoquines, reforzar la base y volver a colocar los adoquines	Colocar losas de recubrimiento sobre las viejas losas	Colocar adoquines de hormigón
3. Levantar las plataformas, quitar la arena y poner asfalto	Levantar los adoquines, quitar la arena y poner asfalto	Colocar asfalto sobre las viejas losas	Colocar losas de recubrimiento sin aglutinante
4. Levantar las plataformas, quitar la arena y poner hormigón	Levantar los adoquines, quitar la arena y poner hormigón	Colocar adoquines de hormigón sobre las viejas losas	Reforzar y colocar una nueva superficie
5. Levantar las plataformas, quitar la arena y poner adoquines de hormigón	Levantar los adoquines, cribar de nuevo la arena y poner plataformas		

Capítulo VI

CONCLUSIONES

152. El método tradicional ha consistido en seleccionar el equipo de manipulación de contenedores según las necesidades de funcionamiento, y diseñar entonces un sistema de pavimento que soportara los daños causados por el equipo seleccionado.
153. De la presente monografía puede deducirse que vale la pena prestar una atención proporcionada al pavimento, centrada en la relación existente entre el equipo de la terminal y los sistemas de revestimiento de superficies. La selección del equipo de manipulación de contenedores y de los sistemas de pavimentación deben considerarse paralelamente.
154. El pavimento es una parte esencial e integrante de la terminal, lo mismo que el sistema de manipulación de contenedores.
155. Es evidente que no existe una solución normalizada para el pavimento de una terminal media, y que incluso para una terminal determinada la elección constituirá una transacción. Lo más importante es tener conciencia de las opciones disponibles y de los factores pertinentes.
156. Resulta afortunado que, en la actualidad, los diseñadores de terminales puedan aprovechar las ventajas que ofrecen los nuevos métodos y técnicas recientemente desarrollados para el diseño y la construcción de pavimentos de terminales.
157. Con la reciente evolución de los métodos de diseño de pavimentos portuarios, el ingeniero de pavimentos tiene hoy muchas más opciones y medios exactos para evaluar esas opciones. En efecto, hoy es menos un técnico que un administrador. Su contribución al bienestar financiero de su puerto es de primera importancia y resulta imperativo que los costos del ciclo vital de su pavimento se mantengan tan bajos como sea posible. En una época de competencia creciente, su puerto se encontrará en desventaja financiera si los costos generales relacionados con el diseño, mantenimiento, mejoramiento y rehabilitación del pavimento son mayores que los del puerto a que esos costos se refieren. Se confía en que esta monografía estimulará a los encargados de los pavimentos portuarios a adoptar el punto de vista más amplio posible en lo que a su trabajo se refiere.
