

Pavimentos para patios de contenedores operados con grúas montacargas

Ing. Edgardo Becker, Ingeniero en Construcciones.
Artículo publicado en la Revista OBRA de Argentina.
Ed. 43 en Febrero de 2017



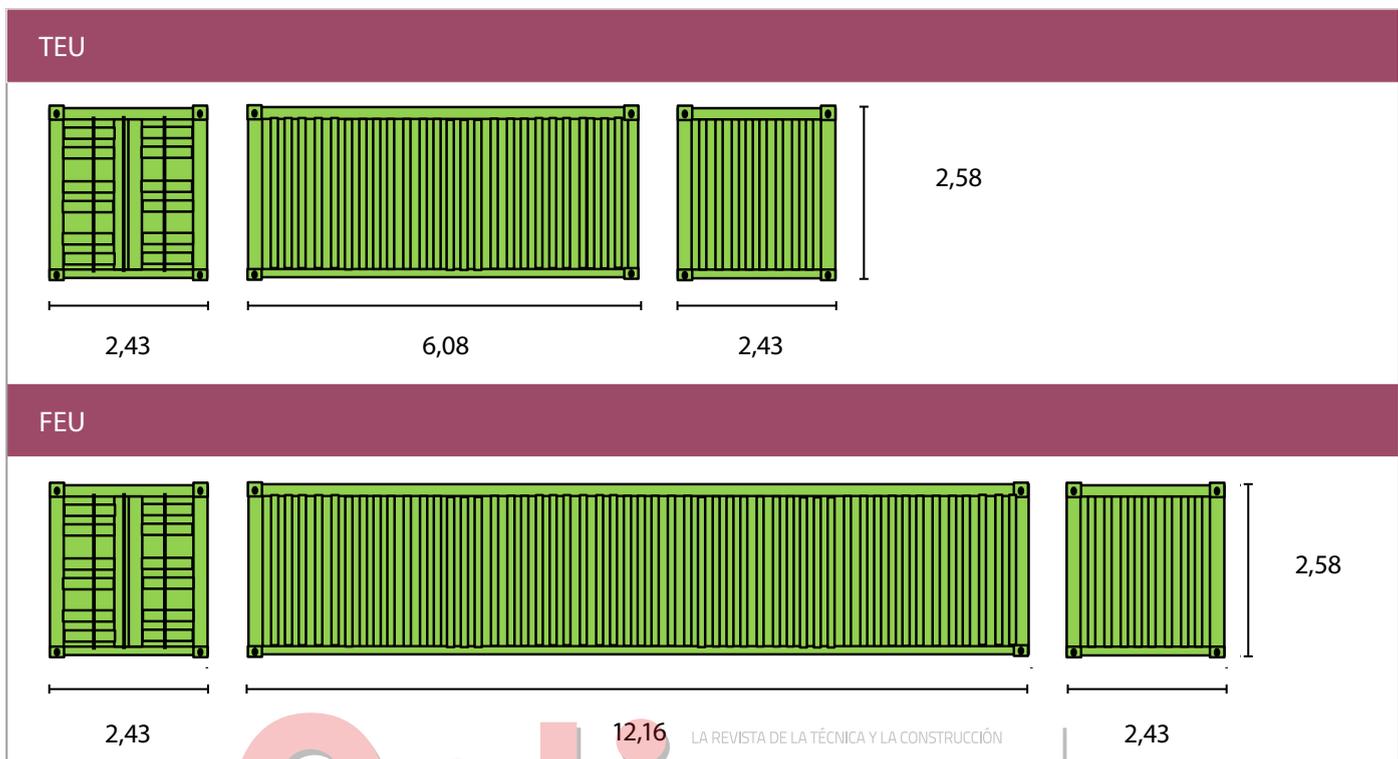
↑ Construcción del primer carril de la Ruta X-730 Acceso a Bahía Murta.
LEANDRO KIBISZ - FLICKR

Muchas industrias que utilizan insumos importados reciben mercancía en contenedores. Por otro lado, algunos operadores logísticos ofrecen un servicio integral de abastecimiento adaptado a las necesidades de cada cliente, que incluye un almacenamiento temporal, de manera que los insumos ingresen al complejo industrial a medida que van a ser utilizados.

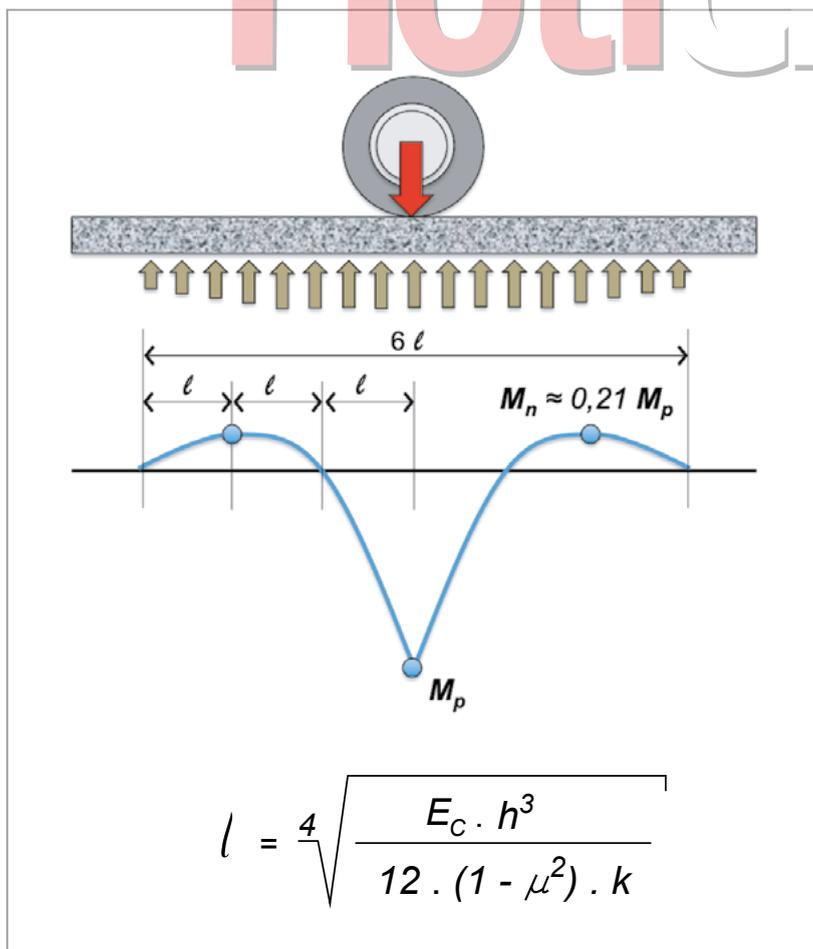
También existen casos en que, a medida que se produce para exportar, el operador logístico saca las piezas de la planta industrial en contenedores llenos, que almacena temporalmente en sus depósitos hasta acumular los stocks necesarios para la exportación.

En cualquier caso, si la operación va a manejar contenedores con frecuencia, será necesario diseñar un patio de contenedores que permita almacenarlos y, por supuesto, manejarlos.

Existen muchos equipos capaces de manejar contenedores y la mayoría de ellos están instalados en las terminales portuarias; para el caso de las industrias y los centros logísticos, lo habitual es la utilización de grúas para contenedores (reach stacker).



↑ Figura 1. Esquema de dimensiones y cargas para contenedores estándar.
E. BECKER, 2012. MEMORIA DE CÁLCULO DE PAVIMENTO DE PUERTO DE CONTENEDORES



Contenedores

El transporte marino internacional utiliza en la actualidad contenedores estandarizados tanto en sus dimensiones como en su capacidad de carga. Los más utilizados son los TEU (twenty-foot equivalent unit) que tienen 20 pies (6,08 m) de largo x 8 pies (2,43 m) de ancho x 8 pies con 6 pulgadas (2,58 m) de alto que pueden transportar carga de hasta 28,18 toneladas. También existen los contenedores FEU (forty-foot equivalent unit) que tienen el doble de largo, pero tienen aproximadamente la misma carga neta máxima (28,75 ton).

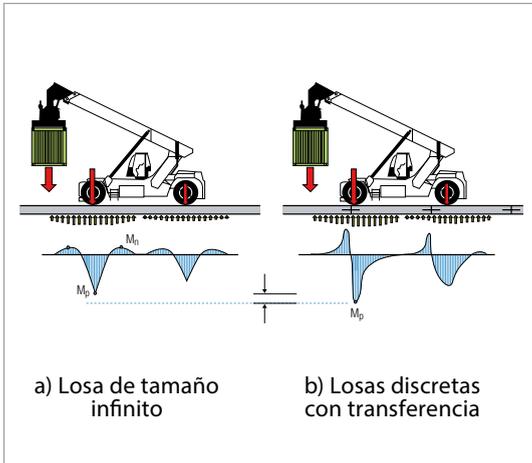
Hay otros tipos de contenedores con algunas características especiales como altura algo mayor (unos 30 cm) denominados high cube o con regulación de temperatura (generalmente fría, aunque puede ser caliente en algunos casos) y necesitan conexión eléctrica) o tanques, aunque por lo general mantienen las dimensiones estándar.

Equipos reach stacker

Los equipos conocidos habitualmente como reach stacker, (montacargas o grúa portacontenedores, como aparece en algunas publicaciones en español), son los preferidos por los operadores logísticos y las industrias que manipulan contenedores, cargados o vacíos, en patios relativamente pequeñas, debido a la gran versatilidad de maniobras que permiten.

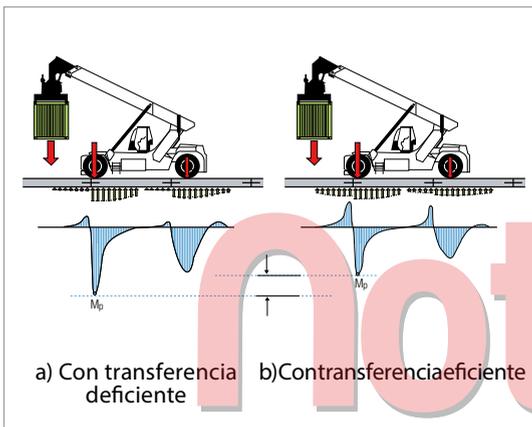
← Figura 2. Diagrama de momentos flexores sobre la losa de piso provocado por una carga de rueda.

E. BECKER, 2012. SEMINARIO SOBRE PISOS INDUSTRIALES



← Figura 3. Influencia del tamaño de las losas sobre la distribución de cargas y momentos flexores.
E. BECKER, 2016

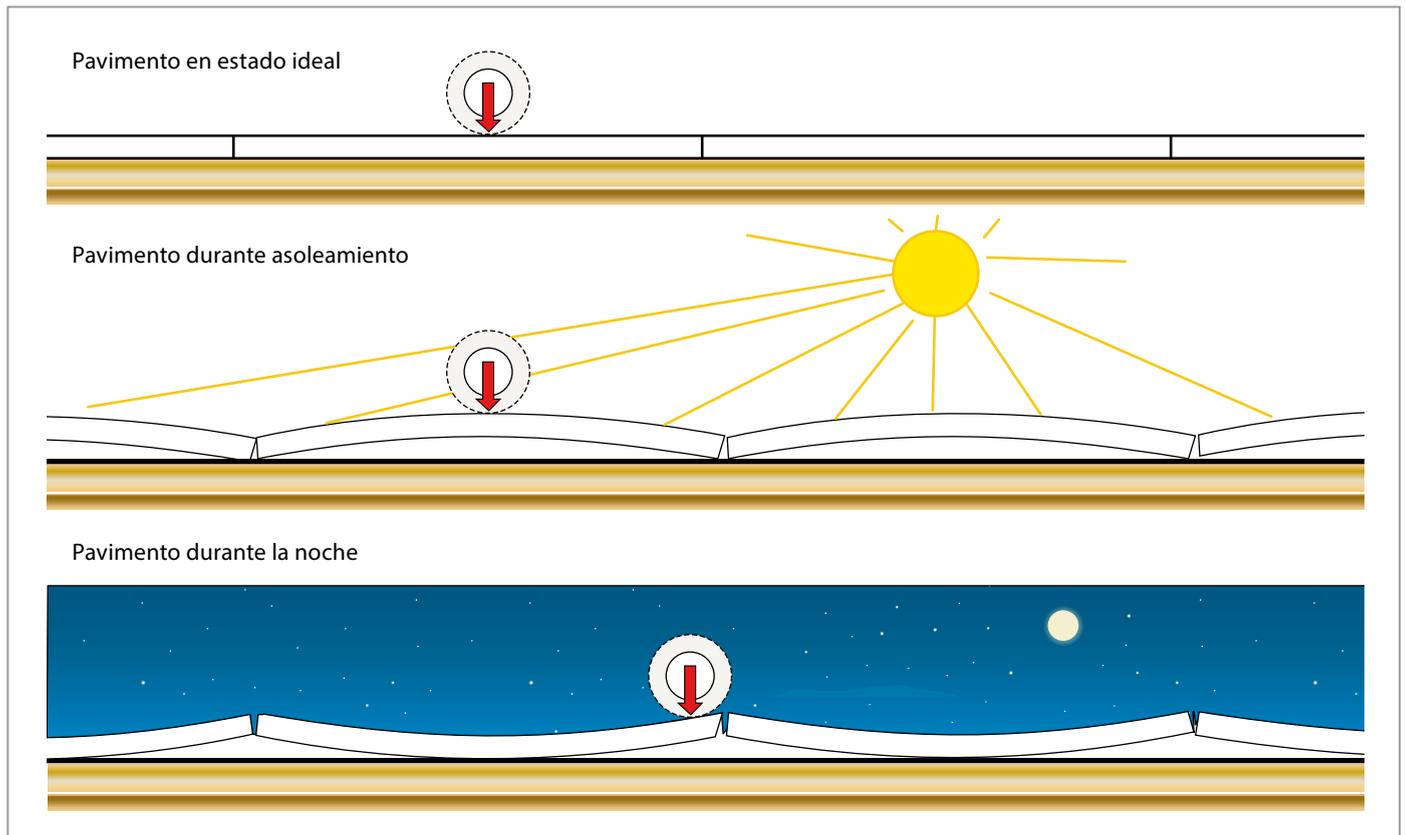
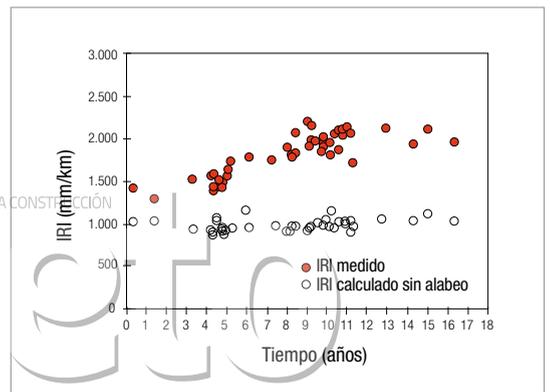
Dependiendo de la maniobra que esté realizando uno de estos equipos, el esfuerzo de las ruedas sobre el pavimento puede ser muy diferente. En general, predomina el eje delantero porque transmite al pavimento una carga mínima de 40 a 45 toneladas cuando opera descargado, y puede llegar a transmitir cargas que sobrepasan las 100 toneladas cuando el contenedor está lleno a su máxima capacidad. En cambio, el eje trasero –que suele llevar la carga que actúa como contrapeso de la grúa– transmitirá sobre el pavimento su carga máxima cuando trabaja en

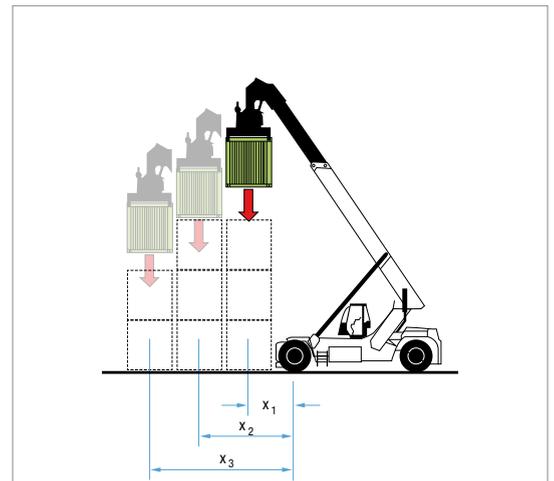
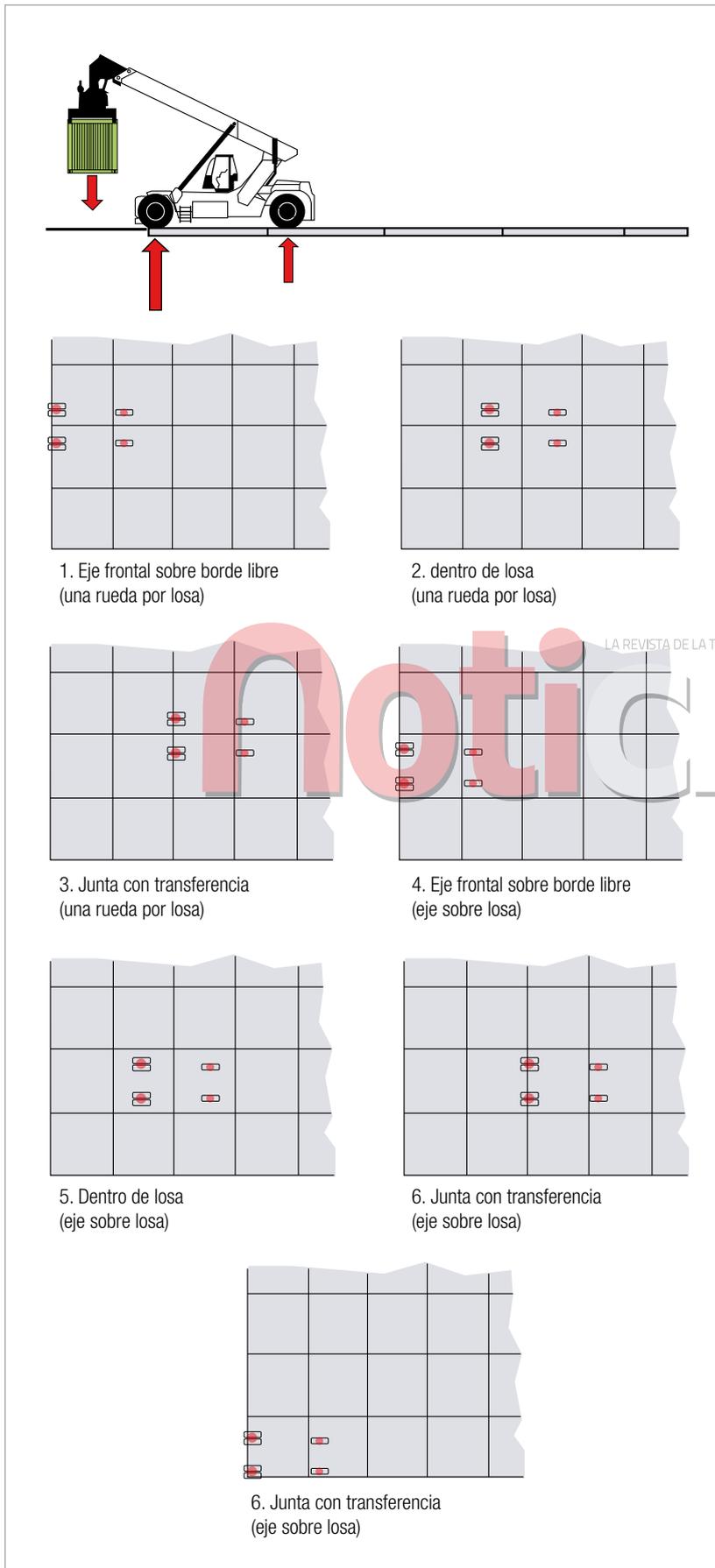


← Figura 4. Influencia de la eficiencia de la transferencia de esfuerzos entre losas sobre la distribución de cargas y momentos flexores.
E. BECKER, 2016

↓ Figura 5. Influencia de la radiación solar sobre el alabeo de las losas de pavimento.
E. BECKER, 2009 SEMINARIO INTERNACIONAL SOBRE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE HORMIGÓN DURABLES

↓ Figura 6. Evolución en el tiempo del IRI (international roughness index) medido sobre el carril izquierdo de una ruta de concreto simple con juntas y el valor calculado quitando el efecto de alabeo.
TOM VAN DAM, 2015. "CONCRETE PAVEMENT CURLING AND WARPING: OBSERVATION AND MITIGATION"





Distancia de carga al eje delantero	Carga máxima recomendada por el fabricante	Carga transmitida al pavimento	
		Eje delantero (front axle)	Eje trasero (rear axle)
-	sin carga	43 t	45 t
x_1	40 t	102 t	31 t
x_2	31 t	94 t	25 t
x_3	15 t	74 t	29 t

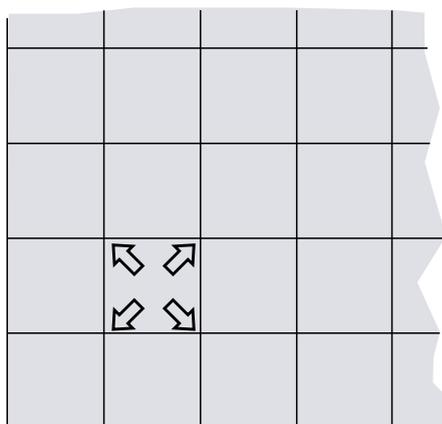
Figura 8. Ejemplo del efecto del brazo de palanca sobre las cargas transmitidas al pavimento por un modelo de equipo reach-stakery las cargas admisibles según datos del fabricante. E. BECKER, 2016

Figura 7. Posiciones características para diseño. E. BECKER, 2016

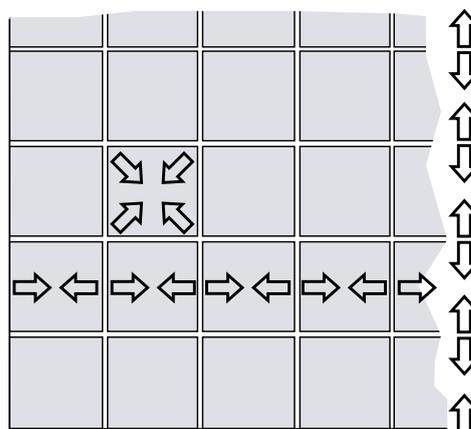
vacío y tenderá a descargarse a medida que el equipo lleve contenedores con diferentes pesos o que realice maniobras con distintos brazos de palanca. En la Figura 1 se indican algunos ejemplos típicos para un equipo reach stacker determinado.

Estados de carga

Los pavimentos de concreto tienen la capacidad de distribuir la carga en una superficie muy amplia debido a la rigidez de la losa propiamente dicha y al módulo de reacción de la subrasante. La Figura 2 muestra un esquema en que una carga puntual (en este caso la de una rueda) provoca una reacción distribuida en la base del pavimento, que se da en forma circular con un diámetro de 6 veces el radio de rigidez relativa (l) que, como puede verse en la expresión incluida en la Figura 2, tiende a aumentar a medida que crecen el módulo de elasticidad (E_c) y el espesor del concreto (h) y se reduce el módulo de reacción de la subrasante (k).



Juntas cerradas en verano por expansión del concreto



Condición de invierno **sin restricción** de movimiento lateral

El pavimento de concreto no es la única opción para un patio de contenedores donde operarán equipos reach stacker, pero podemos afirmar que suele ser la mejor opción en los casos donde la subrasante disponible no tiene una gran capacidad de carga; debido a que los esfuerzos que terminan distribuyéndose sobre ella son realmente bajos debido a la rigidez de este tipo de pavimentos. No obstante, cada caso deberá ser analizado en particular, ya que han tenerse en cuenta estas variables cuando se define la mejor solución al proyecto en estudio.

Analizando el caso de las soluciones más habituales en concreto, una de las variables en juego será el tamaño de las losas y la capacidad de transferencia de cargas en la zona de juntas. Si se toma en cuenta que el equipo reach stacker presenta una distancia entre los ejes delantero y trasero del orden de los 6 m y una separación entre ejes de ruedas en el eje delantero de unos 3 m, podemos afirmar que, para que la distribución de cargas resulte efectiva, se deberá disponer de losas suficientemente grandes o, de lo contrario, diseñar una buena transferencia de cargas entre losas en la zona de juntas.

La Figura 3 muestra que la presencia de juntas tiende a aumentar el esfuerzo máximo de flexión que se produce por debajo de las cargas de rueda. Por otro lado, cuanto mayor sea la transferencia de cargas entre losas las tensiones tenderán a reducirse, ya que una parte de las cargas se distribuyen en las losas adyacentes, como muestra la Figura 4.

Por otro lado, el tamaño de las losas debe tener un límite para evitar la fisuración descontrolada por efectos de contracción y alabeo. En términos de planicidad y calidad de circulación, el alabeo también

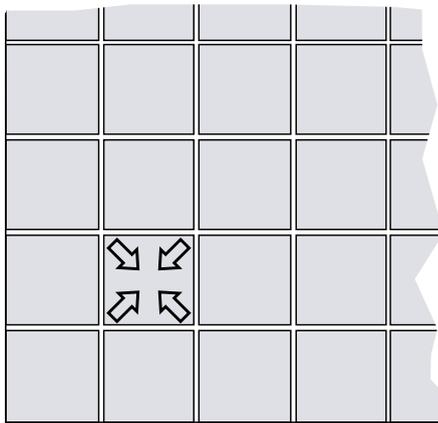
Figura 9. Influencia de la temperatura sobre la apertura de juntas (contracción del hormigón) y la restricción producida por la presencia de pasadores que restringen o no el movimiento de las losas. E. BECKER, 2016

afectan negativamente al pavimento, como muestra la Figura 6. Está claro, sin embargo, que por cuestiones ambientales producto de los importantes gradientes de temperatura debido a efectos de asoleamiento (Figuras 5), podemos afirmar que el alabeo es un fenómeno "natural" de las losas de pavimento. Tal efecto puede reducirse, en este caso, aprovechando la elevada rigidez debida al gran espesor que se requiere para soportar las cargas a las que estará sometido el pavimento. El fenómeno también puede disminuirse limitando el tamaño de las losas.

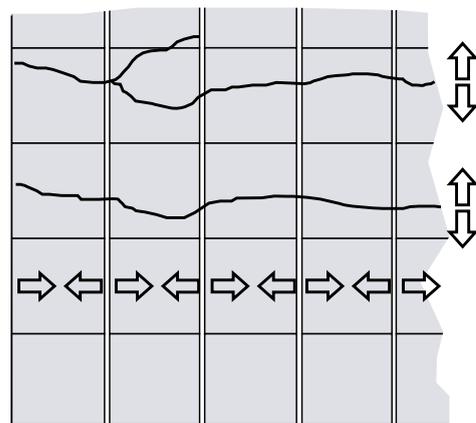
Entonces, para el diseño del paquete estructural habrá que determinar las máximas tensiones a las que estará sometida la estructura, por lo que será necesario considerar los diferentes estados de carga que podrían producirse con cierta frecuencia. En la Figura 7 se muestran las variadas posiciones relativas que pueden considerarse típicamente. En la Figura 8 se ilustra un ejemplo con las cargas máximas recomendadas para un equipo reach stacker y las cargas transmitidas al pavimento por los ejes delantero y trasero en cada caso.

Dependiendo del proyecto, se considerarán las posibles combinaciones y se determinarán los estados de carga típicos, con los consumos por fatiga esperados en cada caso, cuidando de asegurar en el diseño la vida en servicio, que suele rondar los 20 a 25 años, aunque, claro está, en algunos casos los diseños prevén otras edades, generalmente mayores.

Siempre vale la pena verificar el paquete estructural diseñado para el trabajo del equipo reach-stackers ante la carga de las pilas de contenedores, pero es cierto que este estado de cargas suele provocar tensiones menores a los casos anteriores. También



Juntas abiertas en invierno por contracción del concreto



Condición de invierno para juntas **con restricción** de movimiento lateral

hay proyectos que diferencian las áreas específicas de acopio de contenedores, de las áreas de circulación y maniobra de los reach stacker, y en esos casos puede ser factible y recomendable diseñar paquetes estructurales diferenciales.

Juntas

Está clara la necesidad de diseñar y materializar juntas con transferencia adecuada para que el pavimento de concreto de una patio de contenedores trabaje de manera eficiente. Los sistemas de transferencia de carga más utilizados son los denominados pasadores de acero de sección circular, que permiten transferir esfuerzos verticales a través del contacto íntimo entre el acero y el concreto cuando las losas de ambos lados de una junta tienden a deformarse de manera conjunta por el paso de un eje cargado. Por otro lado, los pasadores deben permitir el movimiento "natural" entre losas debido a los cambios dimensionales del concreto por variaciones de temperatura en las que las juntas se "abren" en invierno por contracción de las losas y se "cierran" en verano cuando las losas se expanden.

Está claro que en los pavimentos de ruta los pasadores permiten el movimiento de las losas ya que las juntas transversales son las que trabajan fuertemente debido a que la dirección predominante de variación dimensional de las losas es longitudinal; sin embargo, en algunos proyectos de patio de contenedores, donde por lo general las losas no tienen una dirección predominante de movilidad, se hace necesario colocar en una de las direcciones, pasadores diferentes que tengan la capacidad de

permitir movimientos laterales. De lo contrario, cuando se utilizan pasadores convencionales en direcciones ortogonales, estos limitarán las deformaciones "naturales" de la losa y pueden inducir fisuras por restricción (ver figura 9).

Consideraciones finales

Los especialistas en la materia y quienes poseen experiencia en el tema, saben que las cargas transmitidas al pavimento por los equipos reach stacker son considerablemente mayores que las esperadas en pavimentos convencionales donde circulan camiones que llevan cargas permitidas. Si consideramos que un camión puede llevar hasta 10 toneladas en un eje aislado con ruedas duales, y que el eje delantero de este vehículo puede transmitir al pavimento una carga del orden de 100 toneladas, es de esperar que los espesores de estas patios de contenedores resulten considerablemente mayores a los pavimentos convencionales, por lo cual no es extraño encontrar espesores de losa en rangos típicos de 40 a 50 cm en estas patios, mientras que los espesores de las patios para camiones suelen ser aproximadamente la mitad.

Lamentablemente, algunos operadores logísticos tienden a no contratar un especialista o un profesional experimentado en el tema y terminan construyendo patios de contenedores con deficiencias estructurales y, en consecuencia, con problemas operativos a corto plazo. Esto dificulta la operación y, por supuesto, afecta su eficiencia.

El consejo de un profesional experimentado permitirá optimizar la inversión a través de un desempeño confiable del pavimento.