

INTRODUCCIÓN

➤ Antecedentes

La tecnología de los pavimentos se ha desarrollado principalmente en torno a las estructuras de tipo flexible, con capas asfálticas como superficie de rodamiento, las cuales han experimentado con el tiempo innovaciones en cuanto a materiales y espesores para incrementar su resistencia, antes que recurrir a soluciones con concreto para tal fin, pese a que hay casos en que claramente podría establecerse que la solución técnica y económica más adecuada sería un pavimento de tipo rígido.

Posiblemente han influido en lo anterior conceptos mal definidos, entre los que conviene señalar el costo, falta de equipos, carencia de experiencia, que estancaron el desarrollo de la tecnología de pavimentos de concreto en el país.

Puede mencionarse por otra parte, que esta situación se capta con mayor intensidad en el campo de aplicación de las carreteras, pues no es sino a partir del año 1996, que se inició con la construcción de los primeros pavimentos rígidos construidos inicialmente en las ciudades de Santa Cruz y en Cochabamba; posteriormente, se sumaron a estas iniciativas, la ciudad de Potosí, Tarija, La Paz y Oruro. Otras ciudades pequeñas también apostaron al pavimento rígido, como Yacuiba, Bermejo, Entre Ríos y Cobija que construyeron muchos miles de metros cuadrados de pavimento durable y aún continúan en la búsqueda de proyectos y financiamiento para nuevas necesidades demostrando que el pavimento rígido es la mejor opción de pavimentado, embellecimiento y modernización de una ciudad.

Adquirida la experiencia en estructuras viales y demostrando que el pavimento rígido es la mejor opción de pavimentado, se inicia con la búsqueda de nuevas aplicaciones del pavimento rígido, desarrollándose así la construcción de estacionamientos y pisos industriales.

Inicialmente la información con la que se contaba para este tipo de aplicación era insuficiente para realizar adecuadamente la función a la que estaban destinadas, por lo que los constructores se veían forzados a estimar cargas de diseño o hacer conjeturas sobre la función prevista.

Con el paso de los años, se fue perfeccionando y mejorando los procedimientos de cálculo y construcción, llegando así a obtener a través de estudios y prácticas, mejor diseño, especificaciones y mejor tecnología.

Algunos de los diseños de los pavimentos en pisos industriales fueron: La bodega de almacenamiento de partes para vehículos en Australia, La Planta de vidrios en Ingleburg - Australia, el Laboratorio Alcón en Argentina, La planta Bayer en Argentina y El centro de distribución de Nestlé en Chile.

En Bolivia, el caso de pisos industriales y estacionamientos de pavimentos de concreto deja mucho que desear ya que no siempre ha estado en manos de especialistas, produciéndose deficiencias importantes en el conocimiento de los principios básicos de diseño, lo que ha ocasionado fallas prematuras en el diseño, ya que el proyecto se maneja en muchas ocasiones mediante la aplicación de recetas o recomendaciones prácticas, utilizando concretos convencionales.

Es conveniente señalar que en la gran mayoría de los casos no se cuenta con especificaciones y metodología adecuadas para el proyecto de los pavimentos de este tipo.

➡ **Justificación**

La situación actual boliviana en la construcción de estacionamientos y pisos industriales de pavimento rígido, muestra grandes deficiencias y una ausencia notable de conocimiento de los principios básicos de diseño; este problema, obliga a elegir las mejores alternativas de pavimentación, por lo que debemos instruirnos sobre el tema para aplicar las nuevas alternativas de construcción asegurando un soporte exitoso sin asentamientos ante la

presencia de cargas iguales o menores a las cargas de diseño. Para ello, el pavimento rígido surge como la mejor opción y la mejor decisión de inversión.

Las excelentes características de esta tecnología, tales como, un mínimo costo de mantenimiento, seguridad al usuario, menores costos de operación vehicular y gran durabilidad, permiten asegurar las inversiones realizadas.

El pavimento rígido se consolida como el líder, llegando a ser la alternativa número uno en cualquier proyecto de construcción de estacionamientos y pisos industriales, pues ya empezó a dar sus primeros frutos: es reconocida como la mejor tecnología en construcción de vías; es valorada como generadora de empleo, de ingresos y sobre todo de mejores condiciones de vida para aquellos sectores que toman buenas decisiones que no sólo solucionarán las grandes necesidades que tienen en el presente, sino que afectarán la vida de las futuras generaciones con mayor bienestar, progreso y confianza al momento de asegurar las inversiones realizadas.

La experiencia en el diseño y construcción de losas de concreto para estacionamientos y pisos industriales en los países vecinos revolucionaron la construcción industrial, demostrando la efectividad del pavimento rígido, desarrollando y mejorando la resistencia al desgaste y al impacto de pavimentos sometidos a condiciones severas.

Cumplir con las demandas de la industria boliviana, donde muchas de las instalaciones fabriles, mineras, talleres de mantenimiento e industriales en general, demandan requerimientos de resistencia a la abrasión y desgaste que económicamente no se puede cumplir con una simple solera de hormigón, es así que los pavimentos de estacionamientos y pisos industriales ofrecen especificaciones acordes a los requerimientos de servicio de aplicación específica, durabilidad a largo plazo que rentabiliza la inversión inicial durante su vida útil.

Los pavimentos de los estacionamientos y pisos industriales son superficies construidas en áreas internas o a la intemperie encontrándose expuestas a constantes agresiones químicas

como son las producidas por derrames de aceites, carburantes, restos de líquidos de freno o refrigeración, ácidos, gases de dióxido de carbono y las condiciones climáticas como la humedad, lluvia, cambios térmicos y la radiación UV que forman un ambiente corrosivo, cuyos efectos empeoran al pavimento.

El pavimento de estacionamientos y pisos industriales es la única superficie que no puede eliminarse, es la vía de la producción, las mercancías transitan por ella, desde la que se cargan productos, sobre la que se derraman líquidos, donde por las condiciones del servicio es sometida a distintos tipos de abusos que pueden ir desde moderados a pesados como ser altos impactos causada por la caída de objetos y tránsito pesado como maquinaria.

Los beneficios que se obtiene al emplear pavimentos de estacionamientos y pisos industriales son evitar tiempo de inactividad, que sufra interrupciones, reducir los costos de mantenimiento al mínimo, mantener una apariencia estética atractiva, acabado resistente al desgaste creando un ambiente de seguridad que preserve la estructura y proteger el total de la inversión son aspectos vitales para que permanezca en servicio de manera duradera y continua.

➤ **Objetivos**

➤ **Objetivo General**

Realizar un análisis sobre el dimensionamiento de pavimentos rígidos para estacionamientos y pisos industriales aplicando metodologías establecidas, las cuales puedan ser aplicadas en nuestro medio para obras donde se tenga la necesidad de este tipo de pavimentos. Elegida la metodología más adecuada a nuestro medio, realizar una aplicación práctica que demuestre la aplicabilidad de la misma.

✦ **Objetivos Específicos**

- Analizar los aspectos generales de los pavimentos rígidos en lo que se refiere a sus características, propiedades, tipología y procesos constructivos.
- Analizar los principios en el dimensionamiento de pavimento rígidos en estacionamientos y pisos industriales.
- Establecer las características y especificaciones de los componentes de los pavimentos rígidos para estacionamientos y pisos industriales con sus respectivas particularidades.
- Determinar las características de la zona en estudio.
- Cuantificar los parámetros de diseño necesarios para el estudio de los pavimentos rígidos en pisos industriales y estacionamientos.
- Caracterizar los tipos de cargas en estacionamientos y pisos industriales, además de otros parámetros.
- Estudiar diferentes metodologías para el dimensionamiento de pavimentos rígidos especiales para pisos industriales y estacionamientos. La metodología aplicada será a través de la Asociación del Cemento Portland (PCA).
- Aplicar metodologías establecidas las cuales puedan ser aplicadas en nuestro medio, en obras que tengan esta necesidad de pavimento.
- Analizar el proceso de dimensionamiento de la geometría de losas, espesor de losa, juntas y el tipo de hormigón, de acuerdo a la tipología establecida.

➡ **Alcance**

Se tienen los antecedentes del tema en estudio a nivel internacional, así como nacional. El tema del proyecto está debidamente justificado, la justificación es técnica y profunda. Contiene el objetivo general y objetivos específicos, los medios y la metodología a ser desarrollada.

Describir el conjunto de capas y los elementos que constituyen los pavimentos rígidos como ser las losas de concreto, capa subbase, capa subrasante, acotamientos, así también es indispensable establecer sus principales funciones y comportamiento que depende de la calidad y del tipo de materiales.

Además de los elementos que constituyen un pavimento rígido se hará mención de las características estructurales y funcionales de las losas que dependen fundamentalmente de su espesor y de la calidad del concreto empleado.

Se realizará la tipificación de los pavimentos de concreto utilizados en losas y de sus principales características, ya que constituye el elemento de mayor responsabilidad estructural y funcional, teniendo las capas inferiores, como la subbase y la capa subrasante, la función de asegurar un apoyo uniforme y estable al pavimento.

Se debe conocer los principios y componentes de los pavimentos rígidos para estacionamientos y pisos industriales. De los componentes del pavimento rígido que se hará mención de la subrasante, su función y características, la resistencia del conjunto base subrasante, capa base o sub base y finalmente la capa de rodadura.

Se estudiará los elementos que constituyen el pavimento rígido para estacionamientos y pisos industriales como ser el acero de refuerzo en la losa y su propósito ya que su presencia tendrá como consecuencia un mejor desempeño que aquellas losas que no se refuerzan. Se estudiará también la transferencia de carga que podemos definir como la

habilidad de la junta de transferir una parte de la carga aplicada de uno al otro lado de la junta.

Se deberán establecer los parámetros de dimensionamiento como ser cargas de vehículos, del cual es necesario conocer la carga de eje máxima, número de repeticiones de carga, área de contacto de la llanta. De las cargas de racks, se debe conocer la carga máxima de poste, área de contacto de la carga, espaciamiento entre postes y otros parámetros.

Se indicará los procedimientos de diseño, métodos y procesos de dimensionamiento de la losa y carga en poste para pisos industriales o estacionamiento para luego realizar la valoración de los resultados.

La parte principal del estudio es la aplicación y materialización del contenido teórico del proyecto, será realizado aplicando metodologías establecidas las cuales puedan ser aplicadas en nuestro medio, en obras que tengan esta necesidad de pavimento; una vez establecido el lugar de estudio se procederá a caracterizar los tipos de cargas en estacionamientos, pisos industriales, además de otros parámetros.

Existen diferentes metodologías para el dimensionamiento de pavimentos rígidos especiales para pisos industriales y estacionamientos. La metodología empleada para el desarrollo del tema será a través de la Asociación del Cemento Portland (PCA).

Se iniciará con el proceso de dimensionamiento de la geometría de losas, espesor de losa, juntas y el tipo de hormigón, de acuerdo a la tipología establecida.

Las conclusiones serán los resultados a los objetivos planteados, los cuales se determinarán una vez realizada y finalizada la aplicación práctica.

Las recomendaciones deberán nacer de la experiencia de la realización del proyecto.

➡ **Medios y Metodología**

Para iniciar con la elaboración del proyecto será necesario realizar la investigación del suelo de la subrasante de los lugares en estudio, con el propósito de conocer las propiedades de los materiales que lo constituyen, las exploraciones se practicarán mediante pozos a cielo abierto, preferentemente hasta una profundidad del orden de los sesenta centímetros bajo el nivel del terreno natural, de donde se obtendrán muestras representativas a las cuales se efectuarán los ensayos necesarios para conocer el valor relativo de soporte CBR; conociendo dicho valor, se hará uso de tablas de correlación entre el valor relativo de soporte CBR y el módulo de reacción k de la subrasante, con la finalidad de conocer el módulo de la reacción k de la subrasante el cual es el principal parámetro necesario para el diseño de pavimentos rígidos.

Una vez constituido en el lugar de estudio se realizará la recopilación de los parámetros de dimensionamiento como ser:

- Cargas de vehículos; se debe conocer la carga de eje máxima, número de repeticiones de carga, área de contacto de la llanta, espacio entre ruedas, ancho de rueda y presión de inflado de la rueda de carga.
- Cargas de racks; se debe conocer la carga máxima de poste, área de contacto de la carga, espaciamiento entre postes, altura de postes.
- Cargas distribuidas; se debe conocer la carga máxima, área de contacto de la carga y otros parámetros.

Determinados los parámetros, la metodología empleada para el desarrollo del tema será a través de la Asociación del Cemento Portland (PCA); el cual es exclusivamente un método de diseño desarrollado para pavimentos de concreto.

El método de diseño de la PCA considera dos criterios de evaluación en el procedimiento de diseño, el criterio de erosión de la subbase por debajo de las losas y la fatiga del pavimento de concreto.

Los medios necesarios para la elaboración del proyecto son:

- Visitas de campo: En las cuales se realizará la recopilación de información necesaria para la aplicación del método de diseño, como también la provisión de muestras de suelos de los lugares en estudio.
- Trabajo de laboratorio: Donde se realizarán los ensayos de Contenido de humedad, Límites de Atterberg, Granulometría, Clasificación de suelos, Compactación y CBR.
- Trabajo de gabinete: En el cual se realizarán los cálculos para determinar los valores de los ensayos realizados, así como los cálculos para el dimensionamiento de pavimentos rígidos, a través, del método de la PCA para estacionamientos y pisos industriales de acuerdo a los tipos de cargas.

ASPECTOS GENERALES DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

1.1. Definición

Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente.

Por tanto, el pavimento rígido puede definirse como la superestructura de la obra vial que hace posible la circulación expedita de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía requeridos por el usuario y previstos en el proyecto.

En general, está constituido por un conjunto de capas superpuestas, compuestas por materiales seleccionados, procesados o sometidos a algún tratamiento, las cuales quedan comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento y cuyo comportamiento depende de la calidad y el tipo de los materiales, de su espesor y disposición de la estructura de los pavimentos así como de la calidad de la construcción.

1.2 Descripción y Características de los Pavimentos Rígidos

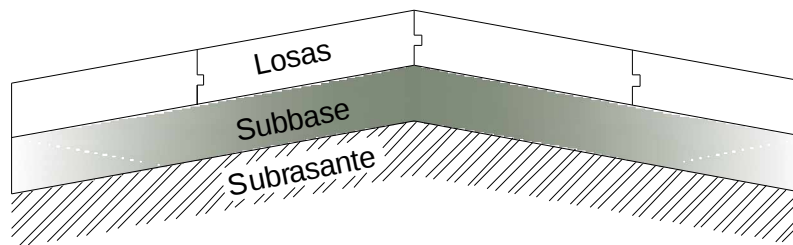


Figura 1.1. Sección transversal del pavimento rígido

El pavimento rígido está constituido por una losa relativamente delgada, apoyada sobre una subbase, y en ocasiones directamente sobre la capa subrasante, especialmente cuando ésta es de buena calidad y el tránsito no es muy intenso.

Debido a que el módulo de elasticidad del concreto es mucho mayor que el correspondiente a los materiales que le sirven de apoyo, la mayor parte de la capacidad de carga del pavimento procede de la propia losa.

Las losas de concreto deben resistir, además de los esfuerzos provocados por el tránsito, los producidos por los cambios de temperatura y humedad, así como por cambios volumétricos de los materiales que les sirven de apoyo.

En términos generales, puede decirse que las características estructurales de las losas dependen fundamentalmente de su espesor y de la calidad del concreto empleado, interviniendo en esta última y en forma primordial la resistencia a la tensión, aun cuando la resistencia al desgaste superficial juega también un papel importante.

Otro factor que merece atención son las juntas o fronteras que dividen las losas, ya que de su apropiado diseño y construcción depende no sólo la adecuada transmisión de cargas entre las losas sino también y de una manera fundamental, la calidad de rodamiento y su desempeño futuro.

Además de las características comentadas, el pavimento debe satisfacer determinados atributos funcionales que se mencionan a continuación:

- Resistencia al derrapamiento, obtenida mediante una adecuada textura superficial.
- Regularidad superficial tanto longitudinal como transversal.
- Eliminación rápida del agua en la superficie del pavimento.
- Bajo nivel de ruido para usuarios como en el entorno.
- Bajo nivel de desgaste de las llantas de los vehículos.
- Condiciones adecuadas de durabilidad de los aspectos anteriores, que inciden en el nivel de mantenimiento requerido.
- Adecuadas propiedades de reflexión luminosa.
- Resistencia al efecto del derrame de combustibles y aceites.

- Posibilidad de pintar marcas viales.
- Buena apariencia.

1.3 Principios de los Pavimentos Rígidos

Un pavimento rígido consta de una losa de concreto relativamente delgada apoyada sobre una capa de subbase o directamente sobre la subrasante.

El pavimento rígido que se construya debe cumplir con dos premisas básicas:

- Que cumpla con su función estructural: Un pavimento se diseña para una vida útil y una cantidad específica de ejes equivalentes.

Por lo tanto, el pavimento se debe mantener estable y con su capacidad de soporte, por lo menos durante la vida útil de diseño.

- Que brinde un confort adecuado al usuario: El pavimento terminado debe brindar al usuario de la vía un confort en su circulación.

Este aspecto ayuda a mantener en niveles aceptables los costos de operación de la vía, que son costos que pagamos todos los usuarios de la misma.

Para garantizar que un pavimento tenga confort durante la vida útil, se debe tener un diseño adecuado y una excelente construcción y mantenimiento que brinden una superficie de rodadura plana y uniforme.

1.4 Elementos que Constituyen los Pavimentos Rígidos y sus Funciones

Los elementos que constituyen los pavimentos rígidos se describen a continuación.

1.4.1. Losas de Concreto

Constituyen la parte fundamental del pavimento rígido, debiendo estar capacitadas para resistir los esfuerzos producidos por el tránsito y los efectos de la intemperie, y proporcionar además una superficie de rodamiento segura, cómoda y de características permanentes bajo el efecto combinado del tránsito y de los factores ambientales durante su vida útil, de manera que sólo deban ser necesarias algunas actuaciones locales y esporádicas de conservación, de poca importancia y costo.

La losa de concreto es relativamente delgada apoyada sobre una capa de subbase o directamente sobre la subrasante.

Como la losa tiene un módulo elástico mucho mayor que el de la capa en que se apoya; la mayor parte de la capacidad de carga del pavimento la proporciona la propia losa, efecto conocido como acción de viga.

Los esfuerzos a que se ven sometidas las losas de concreto son producidos no solamente por la acción del tránsito, sino también por cambios cíclicos de temperatura y humedad así como por cambios volumétricos en los materiales de las capas de apoyo, lo cuál tiende a deformar las losas, produciendo esfuerzos de intensidad variable cuya magnitud se ve afectada a su vez por las condiciones de continuidad del soporte que ofrezcan las capas de apoyo.

En el análisis estructural de las losas de concreto se consideran los efectos producidos por la temperatura, humedad, fricción desarrollada entre las losas y la superficie de apoyo, las cargas aplicadas en magnitud y posición, así como las condiciones del soporte de las losas tales como su magnitud, uniformidad y permanencia.

Existen tres posiciones de las cargas sobre la losa:

- En una esquina.

- En el borde.
- En el interior de la losa.

En las cuales los esfuerzos producidos alcanzan niveles decrecientes en ese orden, razón por la cual debe recurrirse a elementos de transferencia de cargas en las juntas, a sobreanchos o a acotamientos de concreto para que se presenten siempre condiciones equivalentes a cargas aplicadas en el interior de las losas.

Las losas de los pavimentos de concreto se dividen usualmente en los siguientes tipos.

- De Concreto Simple Vibrado.
- De Concreto Reforzado.
- De Concreto Presforzado.
- De Concreto Fibroso.
- De Concreto Compactado con Rodillo.
- Sobrelosas de Concreto.

1.4.2. Subbase

Se define como subbase para pavimentos rígidos la capa de material que subyace a la losa de concreto; tiene como funciones, controlar los cambios volumétricos de la subrasante e incrementar su módulo de reacción. Constituye una plataforma estable de trabajo durante la construcción del pavimento y en ocasiones puede constituir una capa drenante.

Se trata de un elemento importante para garantizar la uniformidad del soporte de losas y se construye por lo general con materiales granulares no cementados, los cuales, cuando el tránsito llega a ser muy pesado e intenso, se hace necesario estabilizar; generalmente con cemento portland, para evitar que bajo su acción sufran erosiones indeseables, recurriéndose a subbase de grava-cemento y aún de concreto pobre.

Debe mencionarse que eventualmente a esta capa se le denomina base, por su posición inmediatamente bajo la losa. Sin embargo, se le designa como subbase debido a que en general los requerimientos de calidad de los materiales no son tan estrictos como los de una base en un pavimento flexible, teniendo en cuenta que la losa de concreto reduce los esfuerzos impuestos a esa capa por las cargas aplicadas por los vehículos.

Con la aplicación de la experiencia obtenida en la evaluación del comportamiento y de la tecnología moderna de los materiales, se pretende fomentar en el diseño de pavimentos de concreto el uso más integral y más económico de los suelos naturales que existan en el sitio de construcción del pavimento, es decir, cuando el tránsito es ligero y el material de la capa subrasante es de buena calidad, se puede suprimir la subbase, apoyando las losas directamente sobre la subrasante.

Por lo tanto, se debe analizar los requerimientos del diseño y decidir con un criterio racional si se necesita una capa de subbase o si se pueden proponer alternativas menos costosas para satisfacer los requisitos de un buen comportamiento.

La subbase debe fundamentalmente evitar el efecto de bombeo de los suelos finos. Este fenómeno consiste en la expulsión de una mezcla de suelos y agua con el paso de los vehículos, que tiene lugar por las juntas de losas, grietas y bordes del pavimento. Dichas condiciones se presentan frecuentemente en el caso de pavimentos importantes que soportarán un elevado volumen de tránsito pesado.

Las condiciones necesarias para producir dicho efecto no se tienen en caminos secundarios de bajo nivel de tránsito ni en calles residenciales. En estos últimos casos, la utilización de una capa de subbase no se justifica desde el punto de vista económico y los resultados deseados se pueden lograr mediante la preparación adecuada y menos costosa de la subrasante.

Además, cuando se necesite la subbase, no es económico utilizar una capa gruesa con el fin de aumentar la capacidad estructural del pavimento, ya que la mayor parte de la capacidad estructural la proporciona la propia losa del mismo.

Por lo tanto, las funciones de la subbase se podrán clasificar como sigue:

- Principalmente para evitar el efecto de bombeo de finos.
- Para ayudar a controlar los cambios volumétricos ante condiciones severas de subrasante con importantes cambios volumétricos.
- Para ayudar a reducir la expansión diferencial excesiva por congelamiento.
- Para proporcionar una capa drenante.
- Para proporcionar una plataforma de trabajo más estable durante la construcción del pavimento.

Para la construcción de subbase se ha empleado con éxito una gran variedad de materiales y de granulometrías, tales como roca triturada, mezclas de grava y arena, arenas y gravas estabilizadas con suelos.

El criterio principal consiste en limitar la cantidad de finos que pasan la malla No. 200 y evitar el uso de agregados blandos, porque pueden producir finos por efectos de abrasión o degradación inducidos por el equipo de compactación y por el tránsito durante la construcción.

La subbase debe tener una granulometría relativamente constante para permitir que con el equipo de compactación se consiga un apoyo uniforme y estable, el cuál resulta esencial para un buen desempeño del pavimento.

Los cambios bruscos en la granulometría de la subbase pueden ser tan perjudiciales como los cambios bruscos en los suelos que forman la subrasante y/o terreno natural, por lo que la granulometría se debe mantener dentro de los límites de un solo tipo.

La subbase que cumple con la norma AASTHO, evitan de forma efectiva el efecto de bombeo, dicha especificación establece que el material granular para usarse como subbase de pavimentos de concreto puede estar formado por arena, mezclas de grava y arena, roca triturada o combinaciones de estos materiales. El material deberá cumplir con los requisitos mostrados en la tabla 1.1.

Tamaño máximo	No mayor que la tercera parte del espesor de la subbase
Pasa la malla No.200, %, máx.	15
Índice de plasticidad, %, máx.	6
Límite líquido, %, máx.	25

Tabla 1.1. Requisitos que deberá cumplir el material de subbase

Fuente: Pavimentos de Concreto para Carreteras, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2002.

Todas las granulometrías tipificadas en la tabla 1.2, abarca la subbase que pueden ser de granulometría uniforme y con permeabilidad de ligera a moderada, o bien graduadas y relativamente impermeables.

Tamaño de la Malla (mm)	Porcentaje que pasa, en peso					
	Tipo A	Tipo B	Tipo C	Tipo D	Tipo E	Tipo F
2" (50.8)	100	100	-	-	-	-
1" (25.4)	-	75-95	100	100	100	100
3/8" (9.5)	30-65	40-75	50-85	60-100	-	-
No.4 (4.7)	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	70-100
No.10 (2.0)	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	55-100
No.40 (0.4)	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	30-70
No.200 (0.07)	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20	8-25

Tabla 1.2. Requisitos granulométricos de materiales para subbase

Fuente: Pavimentos de Concreto para Carreteras, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 2002.

1.4.3. Capa Subrasante

Constituye la capa superior de la terracería y puede estar formada por el propio terreno natural adecuadamente compactado y perfilado.

Sin embargo cuando el material local no tiene las características para cumplir tal función, por presentar problemas de expansión, bajo valor relativo de soporte, se recurre a la utilización de materiales seleccionados procedente de un banco, o bien a su tratamiento con productos tales como cemento portland, cal, asfaltos, si el material es inadecuado.

Constituye el elemento de apoyo del pavimento, por lo que debe resistir adecuadamente los esfuerzos que le son transmitidos, aun en condiciones severas de humedad.

La capacidad de respuesta estructural de la subrasante se determina mediante el módulo de reacción k , que constituye uno de los principales parámetros de diseño de los pavimentos rígidos.

Teniendo en cuenta la elevada rigidez del concreto y el efecto de viga desarrollado por las losas de concreto, los niveles de esfuerzos y deformaciones producidos en la subrasante son muy bajos, de manera que no se requiere un elevado valor de soporte en dicha capa, siendo más importante que dicho efecto de soporte sea uniforme, condición que además debe mantenerse a través del tiempo.

El valor del módulo k , se determina mediante pruebas de placa, las que, aun cuando deben realizarse en la generalidad de los casos, con frecuencia se correlacionan con otros indicadores, tales como los valores de CBR, módulo de resiliencia M_R e incluso la clasificación según criterio SUCS del material de la subrasante.

Sin embargo, dichas correlaciones deben considerarse útiles, principalmente para la elaboración de anteproyectos, pero en general no deben considerarse un sustituto de las pruebas directas en proyectos de cierta importancia.

En la medida en que el módulo de reacción k aumenta, el espesor necesario de la losa se reduce para iguales condiciones de tránsito y de resistencia de concreto, de manera que una mejoría en la calidad o resistencia de la capa subrasante se traduce en un ahorro en el espesor del concreto, el cual llega a ser significativo, hasta del orden de 10 por ciento, principalmente cuando se trata de pavimentos para tránsito intenso.

Es conveniente, así mismo, que el valor de este módulo no se reduzca con el tiempo, por lo que debe vigilarse la compactación de dicha capa, evitar variaciones en el contenido de agua así como la presencia de materiales arcillosos en la misma.

Debe mencionarse, por otro lado, que actualmente se están aplicando algunos métodos de diseño de espesores, principalmente del tipo mecanístico-empírico, que se basan en la caracterización de los materiales utilizando el módulo de resiliencia M_R , que es una medida de las propiedades elásticas de los suelos, parámetros que ha sido reconocido internacionalmente como un medio para caracterizar los materiales para propósitos de diseño o evaluación de pavimentos.

Sin embargo, debido a que no es fácil determinar el módulo de resiliencia en el laboratorio, debe recurrirse a correlaciones con pruebas de CBR, inclusive propiedades índice de los materiales, como se mencionó anteriormente.

Debe señalarse la conveniencia de llevar a cabo una serie de estudios e investigaciones preliminares a lo largo de la ruta del proyecto, con el fin de determinar las características del suelo que soportará el pavimento y las cargas impuestas por el tránsito, de manera que si se juzga que tales características no son adecuadas para esta función, deberán colocarse materiales de mejor calidad, para formar dicha capa de apoyo o capa subrasante, teniendo en cuenta, además, factores económicos ligados al costo inicial y a los de mantenimiento y operación en el ciclo de vida del pavimento.

En determinadas ocasiones es necesario recurrir a la estabilización de los materiales de la capa subrasante, principalmente cuando los materiales existentes no cumplen con las características deseadas y no es económico utilizar materiales seleccionados por encontrarse a grandes distancias de la obra.

También puede recurrirse a esta solución cuando las condiciones de drenaje son deficientes; se requiere que la capa subrasante constituya una plataforma de trabajo estable, o se necesite mejorar la trabajabilidad del material.

Los diferentes tipos de materiales requieren diferentes tipos de agentes estabilizadores, siendo los más comunes el cemento portland, los productos asfálticos y la cal.

1.5. Tipificación y Principales Características de las Losas

Como se mencionó anteriormente, la losa de concreto de los pavimentos rígidos constituye el elemento de mayor responsabilidad estructural y funcional, teniendo las capas inferiores, como la subbase y la capa subrasante, la función de asegurar un apoyo uniforme y estable al pavimento.

1.5.1. Losas de Concreto Simple Vibrado

Son los pavimentos más comúnmente empleados y están constituidos por concreto vibrado en masa, divididos mediante juntas longitudinales y transversales para formar elementos generalmente cuadrados o con relación largo/ancho de 1 a 1.25, salvo en superficies de ancho variable, donde se apartan de dicha forma pero adoptando en todo caso formas rectangulares, sin ángulos agudos.

La separación entre juntas normalmente varía entre cuatro a seis metros, y para favorecer el efecto de la transferencia de carga entre ellas, las juntas se construyen en forma especial (machihembradas) cuando son longitudinales o bien aserradas para debilitar el espesor de la losa y provocar una fractura controlada, generándose la transferencia de cargas por efecto de fricción y trabazón mecánica entre sus caras.

Además, para mantener unidas las losas contiguas y asegurar el efecto de transferencia de carga entre ellas, especialmente bajo la acción de los ejes de vehículos pesados, se disponen pasajuntas metálicas, de varillas lisas en el caso de juntas transversales, y de varillas corrugadas llamadas barras de sujeción en las juntas longitudinales.

En algunos diseños se omiten estos elementos, pero a cambio de ello, se construyen subbase rígidas y no erosionables como concreto pobre, grava-cemento y se restringe la longitud de las losas a unos cuatro metros.



Figura 1.2. Losa de concreto vibrado

1.5.2. Losas de Concreto Reforzado

Estas losas cuentan con un refuerzo metálico a base de malla de alambre electrosoldados o de varilla corrugada, colocada preferentemente en el tercio superior del espesor de la losa, con la finalidad de mantener unidas las fisuras transversales que inevitablemente aparecen en las losas largas; de esta manera se incrementa la separación entre juntas reduciendo en consecuencia su número, lo cual es ventajoso para reducir los problemas que las juntas traen consigo.

Este tipo de losas ha caído relativamente en desuso a causa de su costo, y solamente se utiliza en casos y zonas especiales, generándose más bien el uso de losas con refuerzo continuo, en las cuales suelen suprimirse las juntas transversales a costa de aumentar la cantidad del acero de refuerzo de alto límite elástico.

Si bien el concreto puede presentar fisuras con abertura inferior a medio milímetro a cortas distancias de separación, éstas son imperceptibles al usuario y no progresan bajo el efecto del tránsito.

Aún cuando su costo es muy elevado, estos pavimentos se utilizan ampliamente en autopistas con tránsito muy pesado, en las cuales se desea una conservación prácticamente nula.

La supresión de las juntas transversales mejora además sustancialmente la calidad de rodamiento.

Debe mencionarse que el refuerzo proporcionado en este caso puede reducir ligeramente el espesor del pavimento.

1.5.3. Losas de Concreto Presforzado y Postensado

Las losas de concreto son piezas en las cuales han sido introducidos esfuerzos internos de tal magnitud y distribución que los esfuerzos resultantes debido a cargas externas son contrarrestados a un grado deseado.

El presfuerzo significa la creación intencional de esfuerzos permanentes en una estructura o conjunto de piezas, con el propósito de mejorar su comportamiento y resistencia bajo condiciones de servicio y de resistencia.

Se han ensayado varios sistemas de presfuerzo y postensado con el fin de llegar a soluciones de pavimentos de espesor reducido, gran elasticidad y capacidad de soporte y reducción de juntas.

Gracias al sistema de presfuerzo se han podido construir losas de más de 120 m de longitud, con una reducción de 50 por ciento del espesor de la losa.

Esta técnica ha tenido más aplicación en aeropuertos, tanto en pistas como plataformas.



Figura 1.3. Detalle de la distribución de cables en el piso



Figura 1.4. Centro de Distribución Nestlé (Losa Postensada)

1.5.4. Losas de Concreto Fibroso

En estas losas, el armado consiste en fibras de acero, de productos plásticos, o de fibra de vidrio, distribuidos aleatoriamente, gracias a lo cual se obtienen ventajas tales como el aumento de resistencia al impacto, durabilidad.

Con una dosificación de fibras de unos 40 Kg/m³ de concreto, es posible reducir el espesor de las losas en 30 por ciento y aumentar el espaciamiento entre juntas, por lo que puede resultar atractivo su uso en ciertos casos, a pesar de su costo.

1.5.5. Losas de Concreto Compactado con Rodillo

Se trata de un concreto con bajo contenido de agua, aunque con un contenido de cemento similar al del concreto vibrado.

En este caso, la mezcla puede colocarse con extendedoras de concreto asfáltico, y a continuación debe compactarse enérgicamente con rodillos vibratorios.

Actualmente se han desarrollado máquinas extendedoras especiales que producen una elevada precompactación del concreto, reduciendo la participación del equipo de compactación.

Una vez compactado el concreto, el pavimento puede abrirse de inmediato al tránsito, se recomienda formar juntas transversales a intervalos de 6 a 7 m.

Sin embargo, como la superficie presenta irregularidades, no resulta apropiada funcionalmente para superficies de altas especificaciones, por lo que se requiere una capa de concreto asfáltico como protección y superficie de rodamiento, la cual puede eventualmente experimentar la reflexión de grietas, que conviene impedir o minimizar.



Figura 1.5. Rodillo Vibratorio de un motor



Figura 1.6. Rodillo Vibratorio de dos motores

1.6. Proceso de Ejecución en Pavimentos Rígidos

La ejecución de pavimentos de hormigón destinados a soportar altas intensidades de tráfico se orienta hacia una optimización del conjunto de características estructurales y funcionales, combinada con una disminución de los costos de construcción.

1.6.1. Etapas de la Construcción de un Pavimento Rígido

En la construcción de un pavimento rígido pueden distinguirse las siguientes etapas:

- Operaciones Previas.
- Fabricación del Hormigón.
- Transporte del Hormigón al Punto de Vertido.
- Puesta en Obra del Hormigón.
- Terminación.
- Curado.
- Ejecución de Juntas.

1.6.1.1. Operaciones Previas

Incluye todas las actividades que debe realizarse o al menos comenzar antes de empezar la ejecución del pavimento de hormigón.

Estas operaciones, por orden cronológico, se pueden dividir en las siguientes:

- Planificación General: Cuya finalidad principal, es poder evitar interrupciones y situaciones irreversibles durante la construcción que conllevarían simultáneamente a una falta de calidad y a un encarecimiento de la obra.
- Localización de Materiales y Ensayos Previos: La elección de un yacimiento adecuado y el proyecto de la instalación que produzca los agregados al ritmo requerido y con la calidad necesaria.

Los ensayos previos, tanto para la selección de los agregados, cemento y aditivos, como para el estudio de las dosificaciones, son simultáneos en esta fase.

- Estudio de Dosificaciones: Plazos para obtener las resistencias a partir del tipo de cemento que se vaya a utilizar, permiten fijar la fórmula de trabajo del hormigón.
- Acopio y Abastecimiento: Debido a los altos rendimientos de la pavimentación, los consumos de agregados, cemento, etc., son muy importantes. Por esta razón, conviene tener acopiado, antes de iniciar la ejecución del pavimento, un porcentaje importante del volumen total de agregados.
- Ejecución de la Subbase: Debe estar terminada, al menos en parte, para poder comenzar la construcción del pavimento.

- Colocación de elementos de guiado o de encofrados: Es una operación que, al menos en parte, debe considerarse previa a la ejecución del pavimento, aunque también se prolonga durante toda la puesta en obra del mismo.

1.6.1.2. Fabricación del Hormigón

Los agregados se acopian en las zonas dispuestas para ello con antelación al comienzo de la fabricación, por lo que empieza siendo una operación previa.

Para el abastecimiento de agua puede ser necesaria la utilización de un depósito regulador si no hay seguridad de un suministro instantáneo a la planta con el caudal y presión adecuados.

Los aditivos no suelen ofrecer dificultades de suministro debido a las pequeñas proporciones en que se utilizan, aunque debe asegurarse su abastecimiento.

En general, la dosificación de los componentes sólidos debe ser ponderal, mientras que los líquidos pueden dosificarse por peso o por volumen. A partir de una determinada producción, las plantas son automáticas, realizándose las distintas operaciones tanto de pesado, vaciado de tolvas, desplazamiento de los distintos componentes, comienzo y terminación del amasado, adición del agua, etc., por medio de mecanismos más o menos sofisticados que reducen en gran manera la participación del operador y los riesgos de error.

1.6.1.3. Transporte del Hormigón al Punto de Vertido

El procedimiento más corriente es el transporte con camión basculante convencional, por su simplicidad de reposición, aunque también se puede hacer uso de camiones amasadores, pero una de las razones por la que no es muy utilizado es por la lentitud de descarga del hormigón.

La descarga en la extendidora se hace simplemente basculando los distintos camiones a distancias regulares delante de la pavimentadora. Para facilitar la operación de esta última es muy conveniente realizar un preextendido del material descargando éste en la tolva de una extendidora asfáltica.



Figura 1.7. Descarga del camión a la extendidora

1.6.1.4. Puesta en Obra del Hormigón

La construcción de pavimentos de hormigón, se caracteriza por el predominio casi exclusivo de las pavimentadoras de encofrado deslizantes. Los equipos de encofrados fijos han quedado prácticamente relegados a obras en las que no se requieren elevados ritmos de ejecución.



Figura 1.8. Conformación de la losa



Figura 1.9. Conformación de la losa

Cuando se utilizan equipos de encofrados deslizantes, el guiado de los mismos se realiza mediante unos sensores que van recorriendo unos hilos que van determinando la posición de la superficie del pavimento, tanto en planta como en alzado.



Figura 1.10. Colocación del hilo guía



Figura 1.11. Control del hilo guía

Los equipos de encofrados deslizantes permiten obtener una excelente regularidad superficial siempre que el hormigón sea homogéneo y se asegure un suministro del mismo adecuado al avance de la máquina, sin que se produzca ni acumulaciones excesivas del material delante de ella, ni por el contrario, detenciones por falta de hormigón.

Un elemento característico de las máquinas pavimentadoras es la viga terminadora longitudinal, se trata de una maestra que se desplaza transversalmente al sentido de avance, arrastrada por una cadena, estando dotada al mismo tiempo de un movimiento de vaivén hacia atrás y hacia adelante.

Con ello se alisan las oscilaciones producidas en la superficie a la salida de la máquina, mejorándose la regularidad superficial.



Figura 1.12. Viga terminadora

1.6.1.5. Terminación

Una vez extendido el hormigón, es preciso dotar al mismo de una terminación superficial que garantice la obtención de unas adecuadas cualidades antideslizantes.

Hay que mencionar que una de las ventajas que presentan los pavimentos de hormigón es la facilidad con la que pueden dárseles una gran variedad de acabados superficiales y la gran cantidad de tratamientos que es posible aplicar sobre el hormigón endurecido.



Figura 1.13. Flotado de la Superficie del Pavimento



Figura 1.14. Microtextura

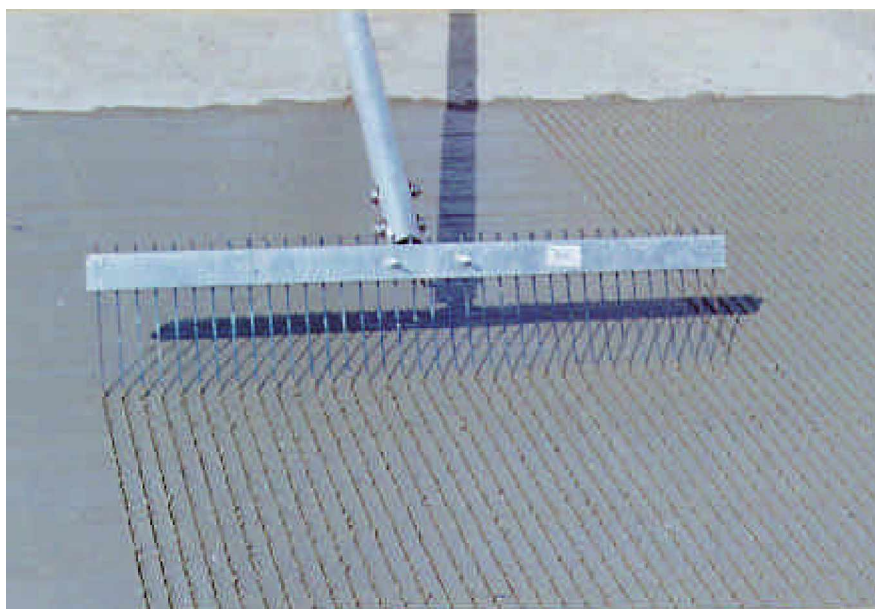


Figura 1.15. Macrotextura

1.6.1.6. Curado

Una operación esencial para la obtención de un pavimento de calidad es la realización de un concreto curado para evitar la pérdida del agua, por evaporación superficial, lo que,

aparte de provocar fisuras de retracción, da lugar a una disminución de las resistencias del hormigón, en especial en la parte superior del mismo.



Figura 1.16. Curado de la Superficie del pavimento mediante riego

1.6.1.7. Ejecución de Juntas

La última operación que sufre el pavimento de hormigón consiste en la ejecución de las juntas transversales de contracción y longitudinales si las hay, así como el eventual sellado de las mismas.

Dichas juntas son necesarias para que las fisuras que se producen de forma natural en el hormigón, tanto por la retracción del mismo, que se ve cortada por el rozamiento con la base, como por el efecto combinado de las cargas de tráfico y los gradientes térmicos, aparezcan rectilíneas en superficie y no con bordes irregulares, como ocurriría si se dejase al pavimento fisurar espontáneamente.

Con la disposición de juntas se provocan las fisuras en la secuencia deseada, compatible con las características del hormigón.

Las juntas se pueden crear en fresco, para lo que existen varios métodos, como el serrado del hormigón endurecido.

Es el procedimiento empleado para la ejecución de las juntas transversales de los pavimentos para tráficos importantes.

El lapso de tiempo que transcurre desde la puesta en obra del hormigón hasta el corte del mismo es muy crítico y depende de numerosos factores: temperatura ambiente, tipo de cemento, etc.

Por un lado, debe haber transcurrido el tiempo suficiente para que el hormigón haya endurecido y pueda soportar los esfuerzos de serrado sin descascarillarse, y por otro no tanto como para que las fisuras de retracción se hayan desarrollado ya, es normal que haya que comenzar a cortar al cabo de 5 ó 6 horas de la puesta en obra.



Figura 1.17. Junta en fresco

La ejecución de las juntas longitudinales por serrado, es mucho menos crítica que la de las transversales, siendo normal iniciar su corte entre las 24 y las 36 horas a partir de la puesta en obra del hormigón.



Figura 1.18. Junta por serrado

Finalmente se realiza o no el sello de juntas que depende principalmente de la pluviometría del lugar.



Figura 1.19. Sello de Juntas

CARACTERÍSTICAS DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN ESTACIONAMIENTOS Y PISOS INDUSTRIALES

2.1. Introducción

La gran competencia que deben enfrentar las empresas para poder subsistir satisfactoriamente en el mercado, ha hecho que éstas busquen día a día ideas que puedan mejorar los productos, los procesos de fabricación y la productividad.

En el afán por mejorar la productividad, las empresas que prestan servicios de bodegaje y/o distribución de productos, así como las firmas que poseen centros de distribución o aquellas en cuyo proceso productivo requieren de nuevos y mejores estándares de construcción, se han visto en la necesidad de especificar para sus plantas, nuevas tecnologías de construcción de modo de satisfacer necesidades de uso, que los sistemas tradicionales comúnmente no han alcanzado.

Un ejemplo de tecnología de construcción que se aplica para satisfacer la necesidad de estas empresas, se refiere a la calidad de estacionamientos y pisos industriales.

Los estacionamientos y pisos industriales son estructuras expuestas a solicitudes mecánicas, químicas y físicas, tienen como principio presentar una superficie durable, segura, iluminada y sin grietas.

Asímismo, los estacionamientos y pisos industriales permiten un uso más eficiente del espacio, un manejo más rápido de los productos dentro de sus recintos y una mayor vida útil del pavimento; en suma, una mayor serviciabilidad que redundará, entre otras ventajas, en una disminución de los costos de mantenimiento y reparación.

2.2. Principios en los Pavimentos para Estacionamientos y Pisos Industriales

Los estacionamientos y pisos industriales son estructuras que tienen como principio presentar una superficie durable, segura, iluminada y sin grietas, con una nivelación apropiada que están expuestas a solicitudes mecánicas, químicas y físicas.

El pavimento rígido para estacionamientos o pisos industriales que se construya debe cumplir con dos premisas básicas:

- Que cumpla con su función estructural: Un pavimento se diseña para una vida útil y una cantidad específica de ejes equivalentes.

Por lo tanto, el pavimento se debe mantener estable y con su capacidad de soporte, por lo menos durante la vida útil de diseño.

- Que brinde un confort adecuado al usuario: El pavimento terminado debe brindar al usuario de la vía un confort en su circulación.

Para garantizar que un pavimento tenga confort durante la vida útil, se debe tener un diseño adecuado y una excelente construcción y mantenimiento que brinden una superficie de rodadura plana y uniforme.

2.3. Componentes de los Pavimentos Rígidos de Estacionamientos y Pisos Industriales

El pavimento rígido especial para estacionamientos y pisos industriales está constituido por un conjunto de capas superpuestas, compuestas por materiales seleccionados, las cuales quedan comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento y cuyo comportamiento depende de la calidad y el tipo de los materiales, de su espesor, disposición en la estructura de los pavimentos así como de la calidad de la construcción.

2.3.1. Subrasante y Material de Base

Para asegurar que el piso industrial soporte exitosamente y sin asentamientos las cargas para las que fue diseñado, es de vital importancia diseñar y construir la subrasante y la base en preparación para recibir la losa de concreto.

El material de base o subbase, será un material granular de calidad controlada que puede proveer y añadir beneficios a la construcción y al desempeño del piso. Ver figura 2.1.

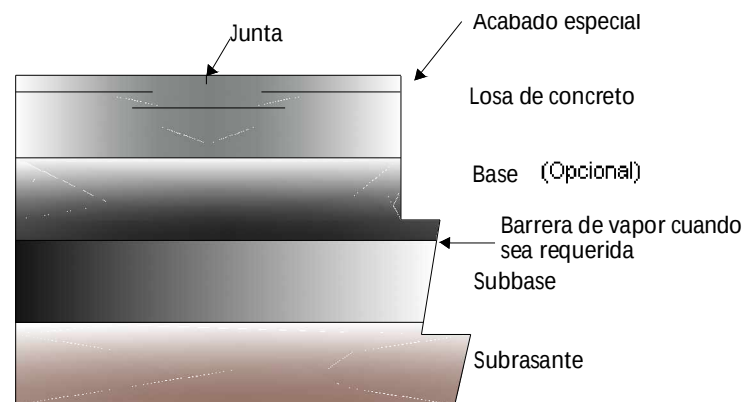


Figura 2.1. Vista en sección que muestra la relación entre la subrasante, la base y la losa.

2.3.1.1. Características y Función de la Subrasante

La subrasante es el mismo terreno natural, graduado y compactado que servirá de soporte para la colocación del piso. En ocasiones para mejorar sus características de drenaje y de compactación la subrasante es mejorada buscando un mejor comportamiento de la estructura de soporte.

En caso de un suelo extremadamente pobre, la remoción y reemplazo de la subrasante con un material compactable, es la mejor opción para estos casos.

El soporte de la subrasante debe ser razonablemente uniforme, sin cambios bruscos de dureza, es decir, de áreas rígidas o duras hacia áreas suaves o blandas, y también buscando que la capa superior de la subrasante sea uniforme en material y en densidad.

Debido a que las losas de concreto son estructuras rígidas, las cargas concentradas de las llantas de los montacargas o de los postes de los racks, son repartidas uniformemente a lo largo de grandes superficies, teniendo como consecuencia, que las cargas en la subrasante sean normalmente bajas. Por tal motivo, los pisos de concreto no necesitan necesariamente soportes muy rígidos en la subrasante.

Sin embargo, el soporte de la subrasante y del material de base contribuye a tener un sólido soporte en los bordes, lo cual es muy benéfico para las juntas en losas expuestas a cargas fuertes en montacargas.

Si el soporte de la subrasante es débil o blando, es muy probable que ocurra un fenómeno de consolidación del terreno de soporte provocado por la constante repetición de cargas fuertes sobre la losa, induciendo a la pérdida de soporte en los bordes de las losas.

Las presiones transmitidas al suelo de la subrasante en ocasiones pueden ser muy significativas, tal es el caso de cargas pesadas como productos de acero o pesados rollos de papel almacenados en contacto directo al piso.

En estos casos, los efectos a largo plazo del suelo, tales como consolidación deben ser considerados en el comportamiento de la subrasante.

2.3.1.2. Preparación de la Subrasante

Para obtener una subrasante uniforme, se deberá tener cuidado de que no existan variaciones de soporte dentro del área del piso y se controlen los siguientes factores que provocan la no uniformidad del terreno de soporte:

- Suelos expansivos:

La mayoría de los suelos que son lo suficientemente expansivos para crearle problemas al piso están clasificados dentro del sistema de clasificación de suelos ASTM, como arcillas de alta plasticidad (CH), limos de alta plasticidad (MH) y arcillas orgánicas (OH).

Existen además pruebas de mecánica de suelos muy simples que nos pueden dar índices que sirven de útiles guías para identificar potencial cambio de volumen de los suelos. La tabla 2.1, presenta valores aproximados de la relación entre expansión y plasticidad.

Grado de Expansión	Porcentaje de Expansión	Valor Aproximado de Índice de Plasticidad (IP)
No expansivo	2 o menos	De 0 a 10
Moderadamente expansivo	De 2 a 4	De 10 a 20
Altamente expansivo	Mayor a 4	Mayor a 20

Tabla 2.1. Expansión vs Plasticidad

Fuente: Manual del Constructor, Cemex Concretos, 2003.

Los comportamientos inusuales de contracción y expansión en una masa de suelo, producidos por un cambio volumétrico en el mismo, tendrán como consecuencia un apoyo no uniforme, resultando deformaciones en el piso de concreto.

La compactación de un suelo altamente expansible cuando éste se encuentre muy seco, puede contribuir a la expansión del mismo y al ablandamiento de la subrasante ante futuras condiciones de humedad.

Cuando el suelo expansivo de la subrasante se encuentra muy húmedo antes de la colocación del concreto, puede ocurrir que la futura contracción del suelo en su proceso de secado deje partes de la losa sin soporte.

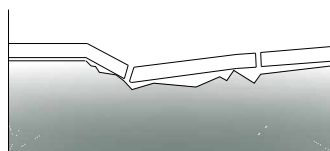
La compactación de suelos expansivos minimiza la posibilidad de pérdida de soporte ante futuros incrementos de contenido de humedad en el suelo y provee a la subrasante de la uniformidad necesaria para su buen desempeño.

Por regla general, la compactación llevada al 95% del peso volumétrico máximo con 1 al 3 % por encima del contenido de humedad óptimo permitirá estabilizar suelos expansivos.

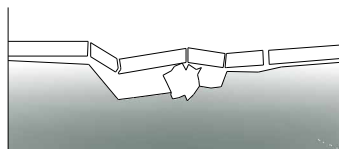
Para proyectos con fuertes condiciones de carga o suelo pobres, es muy recomendable un estudio especializado de mecánica de suelos. El mecanicista de suelos deberá proveer información sobre la capacidad de carga de la subrasante, resistencia y consolidaciones o posibles asentamientos.

- Zonas rígidas y zonas blandas:

Si la subrasante tiene la característica de ser un apoyo uniforme; la losa al momento de ser cargada tenderá a actuar como un puente sobre las áreas suaves y a montarse sobre el material duro, como se muestra en la figura 2.2.



Áreas blandas



Áreas rígidas

Figura 2.2. Áreas blandas y rígidas

Un soporte uniforme no se obtiene con el simple hecho de colocar material granular sobre las áreas blandas, ya que las condiciones de humedad y de densidad o peso volumétrico del

material que se emplea como sustituto deberán ser similares en la medida de lo posible al suelo adyacente.

En las zonas de transición donde los tipos de suelos o condiciones cambian bruscamente, el material sustituto se recomienda mezclarlo con el suelo de los alrededores para crear una zona de mayor uniformidad de soporte.

- Rellenos:

Todo material de relleno que sea utilizado para mejorar la subrasante o para llegar al nivel de la rasante de diseño, deberá ser un material estable y compactable.

Los rellenos en cimentaciones, excavaciones para instalaciones, entre otros, deberá, realizarse con suelos similares al producto de la excavación y compactarse en capas con el objeto de duplicar las condiciones de contenido de humedad y densidad en los suelos adyacentes.

En el caso de arcillas el espesor de cada capa no deberá exceder de 15 centímetros y en general cuando los rellenos se realicen con material granular la compactación de las capas deberá realizarse con equipos vibratorios, ya que rellenos mal compactados pueden provocar subsecuentes problemas de asentamiento y pérdida de soporte de la losa.

2.3.2. Resistencia del Conjunto Base Subrasante

La capacidad de carga de un suelo, la compresibilidad y el módulo de reacción de la subrasante, son algunas medidas de las propiedades de esfuerzo deformación en un suelo y es importante considerar cómo estos parámetros aplican en el diseño de losas de concreto.

2.3.2.1. Capacidad de Carga

La capacidad de carga permisible de un suelo es la máxima presión que puede permitir un suelo de cimentación o soporte con un adecuado factor de seguridad, para protegerse contra la falla o un excesivo asentamiento.

Las presiones o los esfuerzos permitidos en el suelo pueden estar basados entre otras, en las siguientes pruebas:

- Pruebas de esfuerzo cortante en laboratorio (de muestras del suelo), como pueden ser pruebas de esfuerzo cortante directo, pruebas de compresión triaxial o pruebas no consolidadas.
- Pruebas de campo, tales como la prueba de penetración estándar o la prueba de penetración de cono.
- La clasificación del suelo.

Además de la presión permitida en el suelo, existe la capacidad de carga última, es decir, la carga por unidad de área que produce la falla por ruptura del suelo de soporte.

2.3.2.2. Compresibilidad

Otra característica es la compresibilidad de suelos cohesivos, la cual determina la cantidad de asentamiento a largo plazo bajo una carga.

El método convencional para predecir el asentamiento es mediante la realización de pruebas de consolidación y la determinación del índice de compresibilidad a usar en los cálculos de asentamiento.

2.3.2.3. Módulo de Reacción k

Una tercer medida de la resistencia del suelo es el módulo de reacción k de la subrasante, comúnmente usado como parámetro de diseño en pavimentos de concreto y losas de estacionamientos y pisos industriales soportadas sobre el terreno.

No existe una correlación confiable entre las tres medidas de propiedades de un suelo, (módulo de reacción k de la subrasante, la capacidad de carga y la compresibilidad del suelo) debido a que las propiedades anteriores representan características completamente diferentes del suelo.

El valor de k , empleado en el diseño de losas de concreto, refleja las condiciones de respuesta de la subrasante, ante condiciones de deformación temporales (estado elástico) y de pequeña magnitud, usualmente de 1.25 milímetros o menores.

Por el contrario, la compresibilidad de un suelo y la capacidad de carga (valores normalmente usados para predecir y limitar asentamientos diferenciales de la cimentación u otros elementos estructurales) reflejan la condición de deformación total (estado no elástico) de la subrasante, que puede ser de 20 a 40 (o más) veces más grandes que las pequeñas deformaciones en las que se basa el módulo de reacción k .

Muchas investigaciones de pavimentos de concreto han demostrado que las deformaciones en el estado elástico y los esfuerzos en la losa se pueden predecir de muy buena manera cuando se emplea el módulo de reacción k representando la respuesta de la subrasante.

Por esta razón, el control de los esfuerzos de la losa basándose en el módulo de reacción k ha sido aceptado dentro del procedimiento de diseño.

A pesar que el módulo de reacción k no refleja el efecto de la compresibilidad del suelo a alguna profundidad de la subrasante, es la propiedad correcta del suelo a emplearse en el diseño de pisos sujetos a condiciones de carga de llantas y otras cargas concentradas,

debido a que los esfuerzos transmitidos al suelo debajo de una losa de un espesor adecuado no son excesivos; sin embargo, en el caso de cargas distribuidas muy pesadas, la presión permitida en el suelo y la magnitud de los asentamientos deberán estimarse para determinar si puede o no ocurrir la falla o un excesivo asentamiento del suelo.

Generalmente no existen condiciones muy adversas en los suelos, por lo que, los análisis en el diseño requieren solamente la determinación de la resistencia en la subrasante en términos del módulo de reacción k . En campo, el módulo k se determina mediante la prueba conocida como prueba de placa que ilustra la figura 2.3.

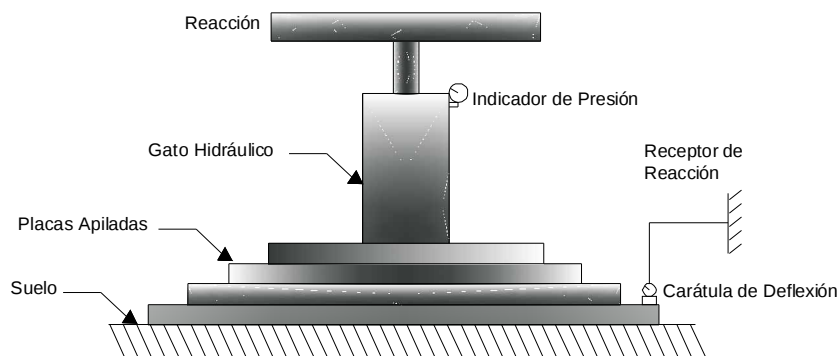


Figura 2.3. Croquis esquemático de la prueba de la placa

La prueba consiste en la aplicación de una carga estática sobre una serie de placas de acero apiladas una encima de otra, formando una especie de pirámide, donde la placa inferior tiene un diámetro de 76 centímetros (30 pulgadas).

Las placas son cargadas hasta provocar una deflexión en el suelo al centro de la placa de 1.25 milímetros y el valor del módulo k se determina dividiendo la presión ejercida (es decir, la carga aplicada entre el área de la placa) entre la deflexión obtenida, por lo que se expresa en unidades de psi/pulg (libras sobre pulgada cuadrada sobre pulgada) o como comúnmente se llama pci (libras sobre pulgada cúbica) o en sistema métrico kg/cm^3 .

Sin embargo, no siempre se pueden realizar las pruebas de placa en el sitio de los trabajos por diversas razones; en estos casos, el módulo de reacción k puede ser puesto

correlacionándolo con propiedades y pruebas más sencillas de mecánica de suelos, como la prueba de valor relativo de soporte o la clasificación del suelo.

Para estos casos la tabla 2.2, puede ser usada para tal efecto.

Tipo de Suelo	Resistencia	Valor k de Diseño	
		pci	Mpa m
Limos y arcillas de alta compresibilidad en estado natural.	Baja	50	13.6
Limos y arcillas de alta compresibilidad compactados. Limos y arcillas de baja compresibilidad. Limos arenosos y arcillas, limos gruesos y arcillas. Arenas escasamente graduadas.	Promedio	100	27.1
Gravas, arenas bien graduadas y mezclas de arenas-gravas, relativamente libres de finos.	Alta	200	54

Tabla 2.2. Estimación del módulo de reacción k.

Fuente: Manual del Constructor, Cemex Concretos, 2003.

2.3.3. Capa Base o Subbase

La base o subbase es la capa de material granular compactable y fácil de perfilar que se coloca en la parte superior de la subrasante. A pesar que se dice ser opcional, la base puede proporcionar beneficios durante el proceso constructivo y posteriormente al desempeño del piso terminado.

Se trata de un elemento importante para garantizar la uniformidad del soporte de losas y se construye por lo general con materiales granulares. Otro aspecto importante que debe cumplir la subbase es evitar la eyección de material fino a través de juntas y grietas, al paso del tránsito.

Tiene como funciones controlar los cambios volumétricos de la subrasante e incrementar su módulo de reacción.

2.3.3.1. Propiedades

Durante la construcción, la base funciona como una plataforma de trabajo estable para equipos pesados, cuando las operaciones de despalme y compactación de la subrasante no producen una subrasante uniforme, una base granular proveerá una especie de colchón para una mayor uniformidad en el soporte de la losa, minimizando los defectos existentes en la subrasante.

El efecto de acolchonamiento y el mejoramiento de la uniformidad será muy importante para suelos cohesivos, ya que son susceptibles a la disminución de la capacidad de carga, en presencia de un mayor contenido de humedad.

Otra función de capa de base o subbase es la de servir como rompedora de la capilaridad, reduciendo la migración de la humedad de las capas inferiores al interior de la losa.

En términos del diseño del espesor de la losa, los efectos del incremento del módulo de reacción k son más significativos cuando tenemos una subrasante o terreno natural de bajo módulo k ; dicho de otra manera, es que el espesor resultante por unas ciertas condiciones de carga no se ve considerablemente reducido al incrementar el espesor de la base cuando tenemos valores altos de módulo k en la subrasante.

2.3.3.2. Características

El material granular de base o subbase mencionado anteriormente, puede estar conformado por arenas, gravas-arenas, rocas trituradas o combinaciones de estos materiales. Un material granular de base cumplirá con los siguientes requerimientos:

Tamaño máximo de Partícula	No mayor de 1/3 de espesor de la subbase
Material que pasa la malla No. 20	15% máximo de masa en un material seco
Índice plástico	Máximo 6
Límite plástico	Máximo 25

Tabla 2.3. Requerimiento para material de base o subbase

Fuente: Manual del Constructor, Cemex Concretos, 2003.

2.3.4. Capa de Rodadura de Losa de Hormigón

Constituyen la parte fundamental del pavimento rígido, debiendo estar encargada para resistir los esfuerzos producidos por el tránsito y los efectos de la intemperie, y proporcionar además una superficie de rodamiento segura, cómoda y de características permanentes bajo el efecto combinado del tránsito y de los factores ambientales durante su vida útil.

Tiene como principales objetivos lograr una lisura y nivelación que cumpla con los altos requerimientos que demanda.

Los esfuerzos a que se ven sometidas las losas de concreto son producidos no solamente por la acción del tránsito, sino también por cambios de temperatura y humedad así como por cambios volumétricos en los materiales de las capas de apoyo, lo cual tiende a deformar las losas, produciendo esfuerzos de intensidad variable cuya magnitud se ve afectada a su vez por las condiciones de continuidad del soporte que ofrezcan las capas de apoyo.

2.3.4.1. Componentes

- Agregado Grueso y Agregado Fino:

Los agregados gruesos están formados por gravas o por una combinación de grava y material triturado. Los agregados finos están formados por arenas.

Las propiedades de los agregados pueden variar, es el caso de la absorción, la granulometría, el peso volumétrico.

En términos generales, el conjunto de agregados finos y gruesos ocupa en volumen de 60 a 75 por ciento, mientras que en peso representa de 70 a 84 por ciento.

En general, todo tipo de agregado debe cumplir ciertos requisitos básicos para su empleo, deben ser partículas duras, limpias, resistentes y libres de sustancias químicas absorbidas, así como libres de recubrimientos de materiales plásticos tales como arcilla o algunos limos, que inhiban la total adherencia con la pasta del cemento y la hidratación natural del cemento. Se tratará de evitar partículas susceptibles a resquebrajarse.

- Cemento:

Se debe tratar de un cemento aprobado y certificado por el fabricante. Durante su almacenamiento debe recibir ventilación, con objeto de que no se acumule humedad.

- Agua:

El contenido y la calidad del agua utilizada en un pavimento rígido influye mucho en el comportamiento a corto y mediano plazo del mismo.

Se debe evitar que el agua contenga impurezas ya que no sólo afectan los tiempos de fraguado y el desarrollo de las resistencias en el concreto, sino que tienen fuerte impacto en su durabilidad, crean manchas permanentes, promueven la corrosión en elementos de refuerzo y originan inestabilidad volumétrica.

2.3.4.2. Especificaciones

Generalmente, la especificación sobre dosificación de una mezcla de concreto está en función del uso que se le vaya a dar, condiciones de exposición, geometría del elemento que se va formar y dos aspectos primordiales:

- Resistencia.
- Durabilidad.

2.4. Acero de Refuerzo

El acero de refuerzo restringe el movimiento que resulta por la contracción de la losa y se provee principalmente para controlar la abertura de grietas que eventualmente ocurren; se proporciona normalmente en forma de varillas corrugadas de acero, refuerzo electrosoldados y fibras de acero.

2.4.1. Propósito del Refuerzo

El refuerzo en una losa de concreto tiene la función de mantener juntas las caras de las fracturas o grietas, cuando éstas aparecen en la losa de concreto. Para conocer si en un piso de concreto es necesario el refuerzo, se presenta la siguiente tabla:

REFUERZO	
NO	SI
Cuando el apoyo de la subrasante sea uniforme y se empleen espaciamientos adecuados entre las juntas.	Cuando se requieran espaciamientos grandes entre juntas. Cuando no se acepten juntas en el piso.

Tabla 2.4. Estimación del módulo de reacción k.

Fuente: Manual del Constructor, Cemex Concretos, 2003.

Será necesario definir tanto el propósito del refuerzo en la losa de concreto, como la manera efectiva de lograr ese propósito.

Existen tres propósitos principales para reforzar la losa de concreto:

- Control de la Contracción.
- Control de Temperatura.
- Control de Momento.

2.4.1.1. Control de la Contracción

El control de la contracción es convencionalmente la preocupación más grande en el diseño de losas.

El acero de refuerzo en conjunto con el espaciamiento entre juntas, ofrecen los dos elementos primarios que pueden ser eficaces en el control de las grietas por contracción; sin embargo, todas las recomendaciones referentes al incremento de la separación entre juntas se debe tomar con mucha precaución, ya que son muchos los factores que afectan a la aparición de grietas por contracción y el simple hecho de correlacionar la separación de juntas con el espesor de la losa y la cantidad de refuerzo, no cubren todos los factores que participan.

La cantidad de acero necesaria para el control de la contracción es alrededor del 1% del área de acero; sin embargo, esta cantidad de acero produce micro agrietamiento en la losa, además de ser un nivel de refuerzo raramente usado en la práctica.

2.4.1.2. Control de Temperatura

Debido a la naturaleza del concreto, éste es también susceptible a fracturamiento adicional por cambios de temperatura, que es comúnmente conocido como gradiente de temperatura.

El acero de refuerzo contribuye en dos maneras a la resistencia de los esfuerzos causados por cambios de temperatura.

- En primer lugar, las leyes de la naturaleza han sido favorables permitiendo que tanto el concreto como el acero tengan esencialmente el mismo coeficiente de expansión térmica (aproximadamente de $6.5 * 10^{-6}$ pulg/pulg/°F).
- En segundo lugar, el acero de refuerzo es dúctil, de tal modo que modifica el choque térmico experimentado por el concreto.

Esto permite al diseñador calcular un área de acero distinta para un gradiente térmico cuantificable.

2.4.1.3. Control de Momento

Los procedimientos de diseño para losas sobre el terreno generalmente arrojan al diseñador un espesor de losa. El espesor encontrado está en función de las cargas, del módulo de reacción k de la subrasante, del módulo de ruptura del concreto y de la rigidez de la losa.

Una vez que éste es determinado, la capacidad de momento de la losa se puede determinar multiplicando el módulo de ruptura (MR) del concreto, por el módulo de sección de la sección dada.

Cuando el concreto se agrieta para permitir que funcione el acero, la sección llega a ser más flexible. Esto cambia el problema a un grado menor. Así será necesaria una menor área de acero.

2.4.2. Procedimiento para el Diseño del Acero de Refuerzo

Con el propósito de mantener unidas las losas de concreto, se emplean dispositivos especiales llamados pasadores, los cuales soportaran nada más cargas axiales. En este caso

el esfuerzo máximo de tensión a que las barras pasadores pueden estar sometidas será igual al esfuerzo necesario para la fricción entre el pavimento y la subrasante. Es muy común emplear como pasadores varillas corrugadas redondas de 5/8" de diámetro.

La separación entre pasadores está dada por la siguiente ecuación:

$$l = \frac{\pi \times d^2 \times f_s}{4 \times a \times h \times \gamma \times f}$$

Donde:

l = Separación entre pasadores, en cm.

d = Diámetro, en cm de la varilla usada como pasador.

f_s = Esfuerzo de trabajo a tensión, en kg/cm², del acero empleado como pasador.

a = Distancia, en cm, de la junta al bordo del pavimento.

h = Espesor, en cm de las losas.

γ = Peso volumétrico del concreto kg/cm³.

f = Coeficiente de fricción del concreto con la subrasante o con la base, usualmente 2.

La longitud de las barras pasadores está dada por la siguiente ecuación:

$$b = \frac{\pi \times d^2 \times f_s}{4 \times p \times u}$$

Donde:

b = Longitud de las barras pasadores cm.

p = Perímetro de la barra cm.

u = Esfuerzo admisible de adherencia 29.0 kg/cm².

El método de cálculo de longitud de pasadores sólo toma en cuenta la mitad de la longitud necesaria, por lo tanto:

$$\text{Longitud total de barras pasadores} = b \times 2$$

2.5. Juntas

Las grietas en los pisos son a menudo causadas por la restricción a cambios volumétricos en una masa de concreto, creando esfuerzos de tensión. Cuando estos esfuerzos de tensión exceden la resistencia a la tensión propia del concreto, sucede entonces el agrietamiento.

Existe la posibilidad de un agrietamiento en forma aleatoria del elemento, debido a las inevitables contracciones por enfriamiento y contracciones por secado, propiedades inherentes del concreto endurecido.

La aparición de agrietamiento aleatorio en el concreto debe ser controlada y hay varias maneras efectivas de lograrlo.

Como primera consideración tenemos que minimizar los cambios volumétricos en el concreto endurecido y otras maneras de lograrlo incluyen la utilización de juntas, el uso de acero de refuerzo y el uso de fibras que ayuden a controlar el agrietamiento plástico.

Las juntas le permiten al concreto un ligero movimiento, por lo cual, se reducen los esfuerzos por restricción, así como el alivio de esfuerzos, evitando de esta manera el agrietamiento. Sin embargo, las juntas que cumplen una función más estética que las grietas, requieren de un sellado y de un posterior mantenimiento para controlar el despostillamiento en los bordes.

Existen principalmente tres tipos de juntas dependiendo su función, ubicación y condiciones en obra. Los tres tipos de juntas comúnmente utilizados en los pisos de concreto son los siguientes:

- Juntas de Aislamiento.
- Juntas de Contracción (longitudinal y transversal).
- Juntas de Construcción (longitudinal y transversal).

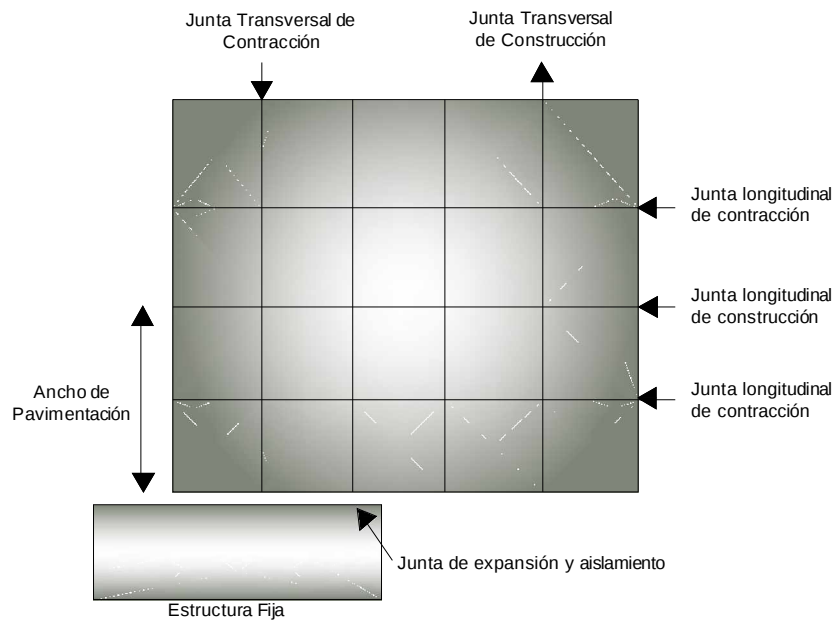


Figura 2.4. Croquis de los tipos de juntas en un piso industrial.

2.5.1. Juntas de Aislamiento

Las juntas de aislamiento se utilizan para permitir una completa libertad de movimiento, vertical y horizontal, entre las caras verticales de la losa de concreto y estructuras fijas de la nave, como muros, columnas, bases de maquinaria, etc.

Este tipo de juntas se debe utilizar para aislar la losa de concreto de muros (cuando éste no necesita una restricción lateral), de columnas, de la cimentación de equipos, bases, pedestales y de otros puntos que impidan el movimiento de la losa, tales como drenajes, pozos de visitas, resumideros y escaleras.

Las juntas de aislamiento se forman insertando material de relleno preformado entre el piso y el elemento adyacente. El material de relleno debe extender a todo el espesor de la losa.

Cuando existan condiciones de humedad, requerimientos de control de higiene o polvos, la parte superior del material de relleno podrá ser removido y sustituido por un sellador elastomérico.

Los siguientes métodos se pueden utilizar para producir una profundidad uniforme en el sellado de las juntas de aislamiento:

- Cortar parcialmente o marcar el material de relleno a la profundidad deseada, a fin de formar un plano de debilidad.

Posteriormente se coloca el material en el lugar donde se formará la junta de aislamiento. Una vez endurecido el concreto se retira la tira.

- Se corta una tira de madera con un espesor igual al deseado para el sellado de la junta.

Se fija la tira en el material de relleno y se instala en el lugar donde se desea la junta de contracción. Una vez endurecido el concreto se retira la tira de madera.

- Otra alternativa es utilizar un material preformado de relleno, que cuente con una tira superior desprendible.

En la figura 2.5, se muestra una junta de aislamiento para la cimentación de un equipo y en la figura 2.6, se ilustran varias alternativas para el aislamiento de columnas.

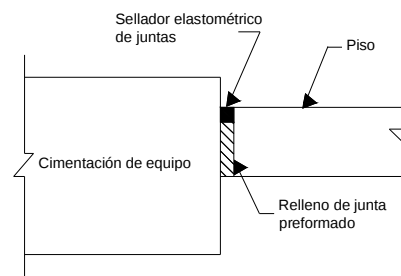


Figura 2.5. Junta de aislamiento en la base de un equipo.

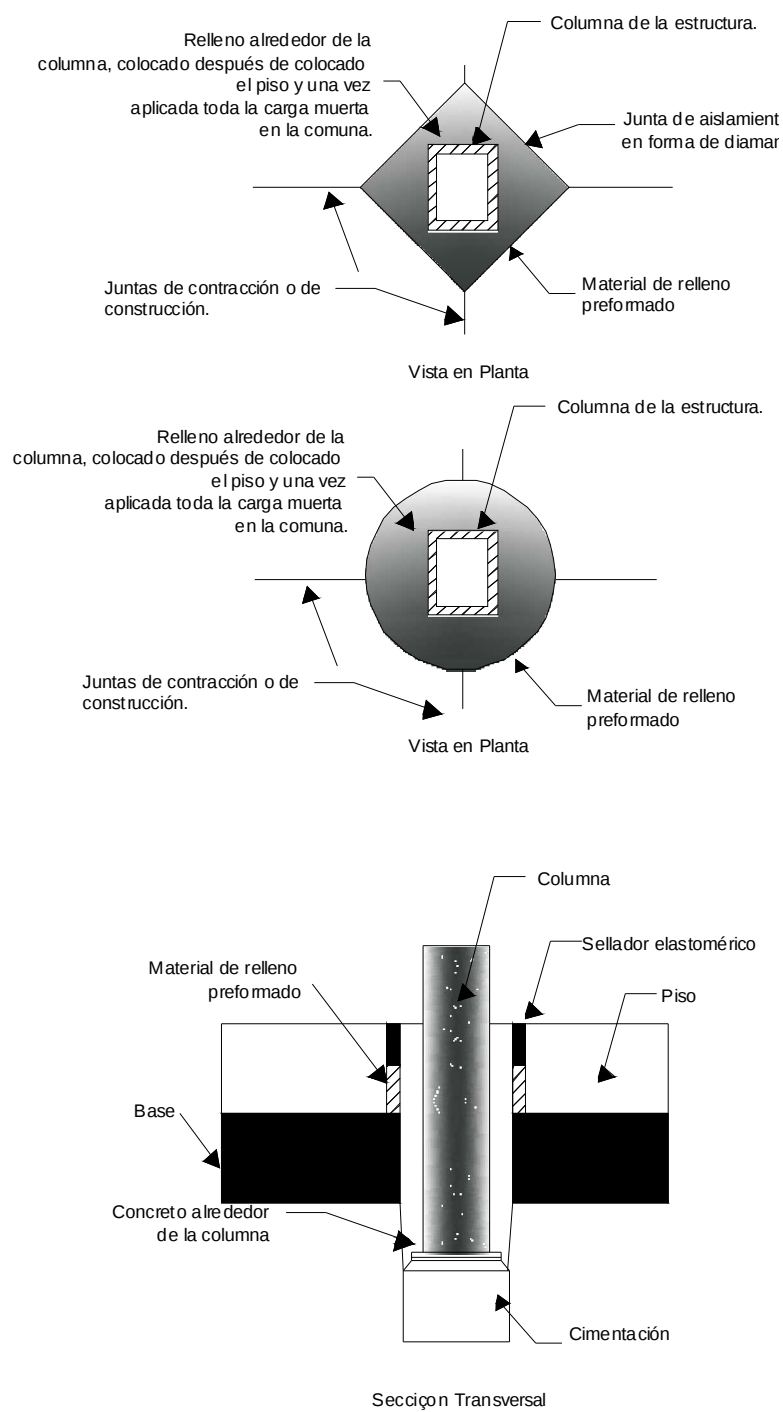


Figura 2.6. Juntas de Aislamiento en columnas.

2.5.2. Juntas de Contracción

Las juntas de contracción o juntas de control, alivian los esfuerzos causados por la restricción del alabeo, contracciones por enfriamiento o contracción por secado.

Teniendo un cuidado especial en el espaciamiento y tiempo de instalación, estas juntas nos ayudan a controlar las posibles fracturas existentes, debido a movimientos naturales y externos en la losa.

Las juntas de contracción pueden elaborarse de diversas maneras, tales como:

- Mediante el corte temprano de concreto semi-endurecido.
- Mediante el corte convencional de concreto endurecido.
- Una ranura de concreto fresco durante el proceso de terminado (no es práctica para pisos de más de 10 cm de espesor).
- Mediante la instalación de plástico premoldeado o inserciones de metal durante la colocación y terminado (no es muy recomendable por la dificultad de crear una ranura perfectamente vertical).

Independientemente de si las juntas se hacen con cortadoras de corte temprano, cortadoras convencionales de corte húmedo, con herramientas manuales o con inserciones de metal o plástico, todas las juntas deberán normalmente extenderse a una profundidad de un tercio del espesor de la losa.

El objetivo de la junta es formar un plano de debilidad en la losa, de tal manera, que el agrietamiento ocurra justo en ese lugar y no en otro, teniéndose un mayor control del agrietamiento.

Cuando los pisos estén expuestos al tráfico vehicular pesado, como en todos los pisos industriales, el corte con disco es el único método aceptado para formar las juntas y el sellado de las juntas será indispensable.

Las ranuras hechas manualmente no son deseables, debido a que redondean por completo los bordes, mientras que los insertos premoldeados, pueden causar problemas durante el terminado del piso y el despostillamiento en los bordes de las juntas es muy común.

Los pisos de uso industrial y comercial, son usualmente cortados mecánicamente. El tiempo de corte es importante, debido a que resulta un factor crítico durante su elaboración, ya que para minimizar los esfuerzos de tensión y el agrietamiento aleatorio causados por alabeo o contracción por enfriamiento, el corte debe realizarse antes que la losa se enfríe de manera considerable.

Las losas de concreto son muy vulnerables al alabeo y a esfuerzos de contracción en sus primeras 6 a 18 horas después de haberse colocado el concreto, cuando los esfuerzos de tensión son muy bajos. Por esta razón, las juntas deberán cortarse lo más pronto posible en cuanto el concreto esté lo suficientemente duro para que la cortadora no despostille los bordes del corte o desaloje partículas de agregado grueso.

Existen en el mercado cortadoras ligeras, de corte temprano, las cuales han sido desarrolladas para permitir que el corte se realice muy temprano después del procedimiento de acabado del piso, algunas veces esto es tan temprano como de 0 a 2 horas después de haber terminado el piso.

En este punto el concreto está muy débil en su desarrollo de resistencia y al realizar los cortes antes que los esfuerzos crezcan, el mecanismo de agrietamiento que relaciona el espesor de la losa con la profundidad del corte, cambia, es decir, que si realizamos el corte en las primeras horas después del proceso de acabado del piso, el agrietamiento aleatorio puede ser controlado aun cuando el corte sea menor de un tercio del espesor de la losa.

La mayoría de las cortadoras de corte temprano tienen discos de diamante de diámetros pequeños que extienden una ranura en un plato de metal que se desliza en la parte superficial de la losa, creando una ranura angosta de 25mm a 38 mm (1" a 1.5") de profundidad.

Muchos contratistas usan la cortadora de corte temprano para realizar el primer corte de control de grietas y posteriormente realizan un corte en la misma línea con un equipo convencional empleando discos de corte más grandes y alcanzando la profundidad de un tercio del espesor de la losa a las 12 a 24 horas después de terminada la losa.

En pisos con acero de refuerzo existen varias maneras de tratar al acero en el área de las juntas, dependiendo de cómo se desea que trabaje la junta.

Existen muchas maneras en la disposición del acero de refuerzo, cuando sea requerido el uso de malla electrosoldada o barras de refuerzo en la presencia de juntas de contracción, en función de su trabajabilidad.

- Junta abierta: Corte el acero y use pasajuntas si desea mejorar la transferencia de carga.
- Junta cerrada: Deje continuo el acero de refuerzo a través de la junta (esto puede inducir agrietamiento en las losas adyacentes por la restricción del acero de refuerzo).

El diseñador puede también decidir dejar parcialmente continuo el acero de refuerzo a través de la junta; lo importante será saber como el acero de refuerzo puede afectar la operación de la junta y el potencial agrietamiento en el interior de las losas adyacentes.

Las juntas de contracción se sitúan generalmente en los ejes de las columnas, con juntas intermedias localizadas a distancias iguales entre los ejes de las columnas, tal y como se muestra en la figura 2.7.

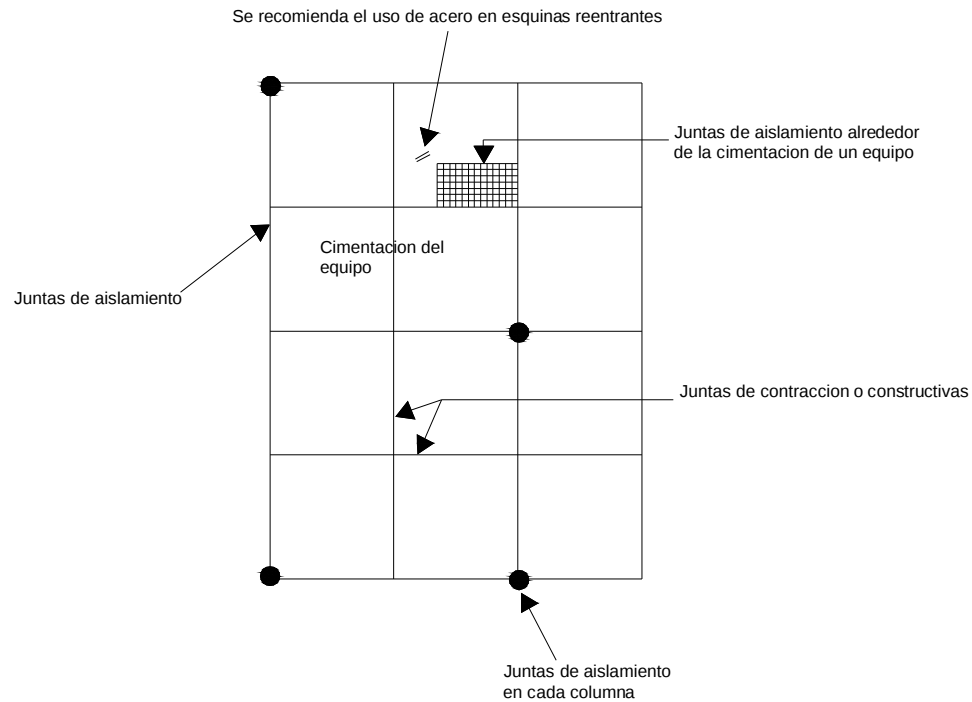


Figura 2.7. Localización de Juntas

A continuación se mencionan algunos factores que deben considerarse, cuando se selecciona el espaciamiento de las juntas de contracción:

- Método de diseño de la losa.
- Espesor de la losa.
- Tipo, cantidad y localización del refuerzo.
- Contracción potencial del concreto.
- Fricción de la base.
- Restricciones de la losa.
- Esquema de la cimentación, de los contenedores y la estantería, de las plataformas de los equipos, de las trincheras y de discontinuidades similares.
- Factores ambientales tales como: temperatura, viento y humedad relativa.
- Método y calidad del curado.

Para los pisos de concreto simple (sin refuerzo), la separación máxima de juntas debe ser de 24 veces el espesor de la losa, teniendo como un máximo de 4.5 m que generalmente produce buenos resultados.

La separación de juntas puede aumentarse en las losas reforzadas con un 0.2% de acero o menos, colocado dentro de los 50 mm (2") superiores de la losa, pero la ocurrencia de agrietamiento y alabeo aumentaría.

El refuerzo no evitará el agrietamiento; sin embargo, la cantidad de refuerzo y su adecuada ubicación, mantendrá las grietas con un ancho dentro de los límites aceptados.

Las juntas de contracción pueden reducirse o eliminarse en las losas reforzadas con al menos un 0.5% de refuerzo de acero continuo, colocado dentro de los 50 mm (2") superiores de la losa o dentro del tercio superior del espesor, cualquiera que se encuentre mas cerca de la superficie.

Esto típicamente produce numerosas grietas finas, con una separación muy reducida entre unas y otras, por toda el área de la losa.

Las juntas de contracción deben ser verticales, no escalonadas ni con desviaciones. El radio de aspecto de cada losa sin refuerzo o con refuerzo por temperatura y contracción, deberá ser máximo de 1.4 a 1; sin embargo siempre que sea posible el radio de 1 a 1 deberá preferirse. Se deberán evitar losas con forma de L o T.

Los pisos alrededor de las zonas de carga, tienen la tendencia a agrietarse debido a su configuración y la restricción del movimiento que se produce. En la figura 2.9, se muestra un método para minimizar el agrietamiento de las losas en los puntos con esquinas entrantes del muelle de carga.

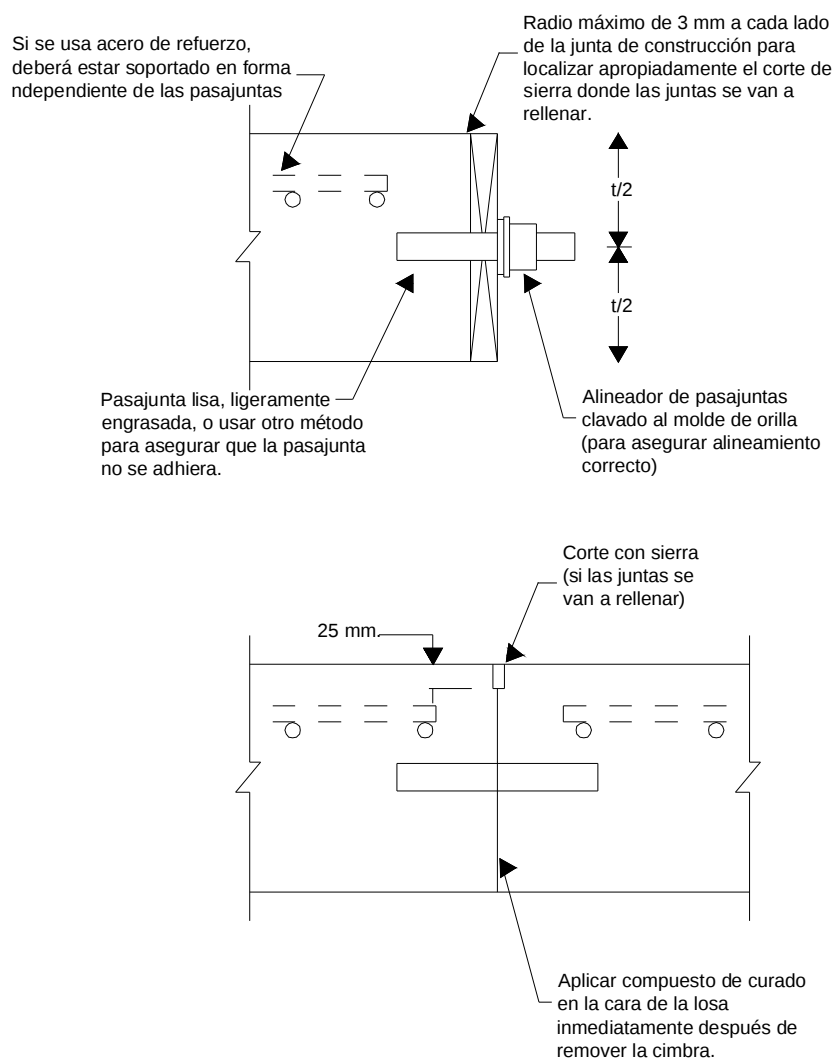


Figura 2.8. Junta de contracción con pasajuntas

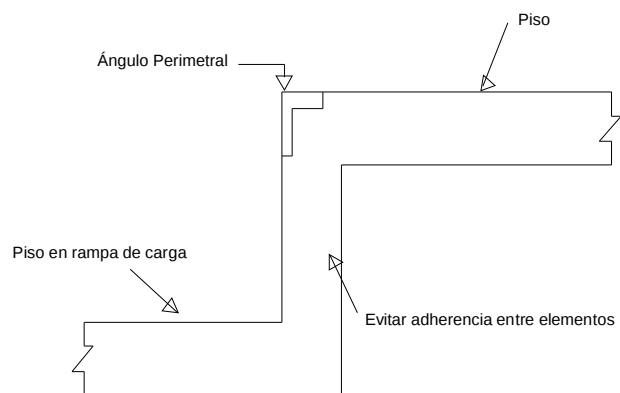


Figura 2.9. Detalle de juntas en el área de carga

2.5.3. Juntas de Construcción

Las juntas de construcción forman los bordes de cada día de trabajo, normalmente son diseñadas y construidas tanto para trabajar como para estar alineadas como juntas de contracción y juntas de aislamiento.

En algunas ocasiones, cuando el colocado es interrumpido por un tiempo suficientemente largo como para permitir el endurecimiento del concreto, se deberá colocar una junta de construcción.

Si es posible, la junta de construcción deberá quedar alejada 1.5 m (5 pies) de cualquier otra junta paralela.

En áreas que no están sujetas al tráfico, se podrá utilizar una junta plana; sin embargo, en las áreas sujetas al tráfico de vehículos con llantas duras, vehículos pesados o ambos, se recomienda utilizar pasajuntas para mejorar la transferencia de carga en la junta.

Las juntas machimbradas se pueden utilizar en áreas con tráfico muy ligero. No se recomiendan para pisos con tráfico de montacargas ya que no proporcionan una eficiente transferencia de carga como en el caso de juntas de construcción con pasajuntas y esto es debido principalmente a que los componentes “macho y hembra” pierden contacto cuando la junta se abre a consecuencia de la contracción por secado.

La práctica común en las juntas de construcción es regresar posteriormente y realizar un corte a una profundidad de 1” (2.5 cm) para crear el depósito para el material de sello, ya que selladas las juntas de construcción mejorarán el nivel de servicio al circular por ellas, así como su apariencia.

En el caso de juntas de construcción de emergencia, es decir, en aquellas que no están alineadas como juntas de contracción y son necesarias por alguna emergencia, en este caso

se recomienda el uso de barras de amarre en vez de barras pasajuntas y éstas deberán ser diseñadas en su diámetro, longitud y separación dependiendo del espesor de la losa.

Además se recomienda dejar continuo el acero de refuerzo. Es importante aclarar que esto se aplica exclusivamente en los casos de juntas de construcción de emergencia y no en los casos en que las juntas de construcción trabajan y están alineadas como juntas de contracción.

2.6. Sellado de Juntas

Se puede decir que básicamente hay tres opciones para tratar las juntas en una losa de concreto soportada sobre el terreno, éstas pueden ser rellenas, selladas o dejarse abiertas.

Sin embargo, en el caso de pisos industriales con constante repetición de montacargas con ruedas sólidas o en el mejor de los casos ruedas neumáticas, la opción de dejarlas abiertas definitivamente no aplica.

El relleno de las juntas, que podríamos describir como sellado a toda la profundidad del corte, es muy recomendable para todas las juntas expuestas al tráfico de ruedas sólidas.

En el caso de un uso más ligero de tráfico, como el caso de ruedas neumáticas entonces se puede recomendar un sellado convencional, donde no se sella a toda la profundidad del corte, gracias al empleo de un material de respaldo.

La diferencia entre un relleno a toda profundidad y un sellado convencional radica en la dureza del material, ya que en los rellenos de las juntas se buscan selladores más rígidos que los convencionales para proveer soporte a los bordes de la junta y así minimizar el despostillamiento de la misma.

Las juntas de contracción y construcción en áreas del piso expuestas a tráfico de ruedas sólidas, de uretano, nylon o acero podrán ser rellenas en su sellado a toda profundidad con

un sellador epóxico semi-rígido o poliurea que provea soporte lateral a los bordes verticales de la junta cortada con disco.

El material recomendado para estas aplicaciones tan rudas de tráfico deberá también tener una resistencia a la tensión de bajo rango y una muy buena adhesión al concreto para permitir eventuales movimientos de la losa.

En los pisos expuestos a tráfico peatonal y llantas neumáticas con baja presión de inflado, no es necesario el sellado de la junta a toda la profundidad y tratarse como un sellado convencional.

Antes del sellado de juntas cortadas con discos, éstas deberán ser limpiadas para asegurar la adherencia entre el sellador y el concreto en las caras del corte.

Parte de este proceso de preparar las juntas para el sellado es la remoción de cualquier desperdicio o polvos del proceso de corte o de la misma construcción, para lo cual se recomienda hacerlo mediante aspirado con equipo especializado a soplear las juntas con un compresor de aire.

El sellado con productos epóxicos semi-rígidos deberá retardarse la mayor cantidad de tiempo posible para permitir que la junta abra por el efecto de la contracción por secado de la losa, lo que nos lleva a un mejor sellado y por ende a un mejor desempeño de la junta de operación.

Para asegurar que el sellador no se vaya a levantar con el paso del tráfico, la aplicación del sellador se deja un poco más arriba de la superficie de la losa, para posteriormente cortar los excesos de sellador con el empleo de una herramienta tipo espátula, dejando el sellador al mismo nivel de la superficie del concreto.

Se recomienda ampliamente sellar las juntas antes que el piso esté sujeto al tráfico de ruedas duras, pequeñas o pesadas que puedan provocarle desportillamientos de los bordes.

Las juntas que aún tienen movimiento puede hacer que falle la extensibilidad del sellador y provocar que el sellador se separe de las caras del corte (lo que se conoce como falla por adhesión) o también fallar abriéndose el sellador sin separarse de las caras de las juntas (falla de cohesión).

Cuando esto ocurre, los huecos deberán ser rellenados con el mismo producto de sellado original o alguno compatible recomendado por el fabricante. Si la falla es tal que el sellado se siente suelto al simple tacto, éste deberá ser removido y vuelto a colocar.

Las juntas de aislamiento, las cuales están diseñadas para acomodar movimientos pueden ser selladas desprendiendo la parte superior del material y después llenando el hueco formado con material elastomérico.

También se pueden usar en este tipo de juntas materiales premoldeados que tienen un inserto removible que puede ser usado como depósito para el sellado posterior.

Cuando las recomendaciones antes descritas no se siguen y las juntas funcionan inadecuadamente, existe la posibilidad de presentarse despostillamientos en las caras de la junta o de aparecer agrietamiento aleatorio en la losa. Recordemos que el deterioro en juntas y sellado de grietas es la mayor parte de un programa de mantenimiento típico, por lo que todo esfuerzo hecho en la construcción inicial del piso, específicamente en juntas, será seguramente recompensado en el costo de mantenimiento del mismo.

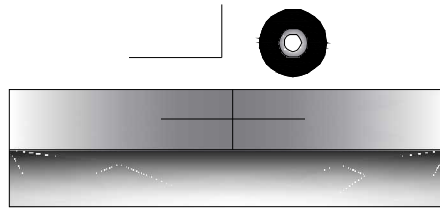
2.7. Transferencia de Carga

La transferencia de carga la podemos definir como la habilidad de la junta de transferir una parte de la carga aplicada de uno al otro lado de la junta y el grado de transferencia se mide por lo que llamamos como eficiencia de la junta, (figura 2.10).

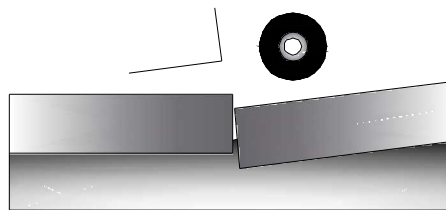
Una junta es 100% efectiva si logra transferir la mitad de la carga aplicada al otro lado de la junta logrando prácticamente iguales deflexiones en ambos lados de la junta, mientras que

un 0% de efectividad significa que ninguna parte de la carga es transferida a través de la junta, por lo que solamente el lado cargado de la junta sufrirá la deflexión.

La importancia de la transferencia de carga radica en la reducción de esfuerzos y las deflexiones en la losa cerca del área de la junta, permitiendo una circulación más cómoda y con menor nivel de daño en la junta, en el vehículo o en la carga.



a) Losa con un adecuado sistema de transferencia de carga (Junta 100% efectiva)



a) Losa sin sistema de transferencia de carga (Junta 0% efectiva)

Figura 2.10. Eficiencia en transferencia de carga en juntas

La evaluación en campo de la transferencia de carga se realiza midiendo las deflexiones en cada lado de la junta dada una aplicación de carga.

De manera que conociendo las deflexiones en las juntas, por medio de la siguiente ecuación podemos conocer el % de eficiencia de la junta (E):

$$E = \frac{2 \times \Delta_U}{\Delta_L + \Delta_U} \times 100$$

Donde:

Δ_L = Deflexión del lado cargado de la junta.

Δ_U = Deflexión del lado no cargado de la junta.

2.7.1. Transferencia de Carga Mediante Trabazón de Agregados

La trabazón de agregados depende de la resistencia al cortante entre las partículas del agregado en las caras de la junta, debajo del corte inducido en la junta.

Este sistema de transferencia de carga es más efectivo para pisos construidos con una corta separación de las juntas y bases estabilizadas no erosionables.

2.7.2. Transferencia de Carga Mediante Pasa Juntas

Las pasajuntas son barras de acero liso y redondo colocadas transversalmente a la juntas para transferir las cargas del tráfico sin restringir los movimientos horizontales de las losas.

Además mantienen a las losas alineadas horizontal y verticalmente.

Dado que las pasajuntas llegan de un lado a otro de la junta, las aperturas diarias y de temporadas no afectan la transferencia de carga a lo largo de las juntas con pasajuntas como sucede en las juntas con solamente transferencia de carga por trabazón de agregados.

Las pasajuntas reducen las deflexiones y los esfuerzos en las losas de concreto, así como el potencial de escalonamiento en las juntas, bombeo (expulsión de finos a través de las juntas) y despostillamiento o ruptura de bordes.

Por lo que toda esta reducción de deflexiones y esfuerzos en las losas al transmitir efectivamente la carga a lo largo de las juntas se traduce en un incremento en la vida de servicio del piso industrial.

Al menos una mitad de la pasajunta deberá ser engrasada o recubierta con algún agente que evite la adherencia con el concreto.

También se usan dispositivos o mangas para acomodar la expansión o contracción del concreto en la junta y asegura tener libertad de movimiento longitudinal.

La forma tradicional de las pasajuntas sigue siendo la redonda, sin embargo; también se usan barras cuadradas o incluso pequeñas placas de acero.

Las barras cuadradas se usan con una manga especial de plástico duro que cubre la mitad de la barra y que en sus costados contiene un material compresible.

El diseño mantiene el alineamiento vertical entre los dos lados de la losa, mientras permite pequeños movimientos horizontales.

Un importante beneficio de este sistema es la reducción de agrietamiento provocado por un mal alineamiento de barras y por los movimientos normales de la losa en el área de juntas, además que las juntas con barras cuadradas, presentan mejor eficiencia de transferencia de carga en las juntas que las hechas con barras redondas.

Las pasajuntas, ya sean redondas, cuadradas o placas de acero, siempre deberán estar colocadas a la mitad del espesor de la losa, paralelas a la superficie del piso y al eje neutro de la losa. Las pasajuntas redondas que no se coloquen alineadas horizontal y verticalmente van a restringir el movimiento de la losa y podrán llegar a provocar agrietamiento.

No se deben confundir las pasajuntas con las barras de amarre; recordemos que las pasajuntas son de acero liso que permiten los movimientos de expansión y contracción de la losa, mientras que las barras de amarre, son varillas corrugadas que se adhieren al concreto en ambos lados de la losa no permitiendo el movimiento de la misma pueden llegar a causar agrietamiento aunque ciertamente ofrece transferencia de carga en las juntas.

Así mismo, se debe tener especial cuidado en alinear perfectamente las piezas para evitar que estas puedan restringir los movimientos horizontales entre las secciones.

De hecho, uno de los principales problemas de este sistema es el garantizar la perfecta alineación de las piezas, y otro es el riesgo que se corre cuando se colocan pasajuntas tanto en el sentido perpendicular, como en el sentido paralelo a la franja de colado, ya que unos no permiten el movimiento horizontal de los otros; para estos casos normalmente se recomienda omitir las últimas barras en la junta, dejando al menos una distancia libre entre pasajuntas igual a la longitud de una barra. Figura 2.11.

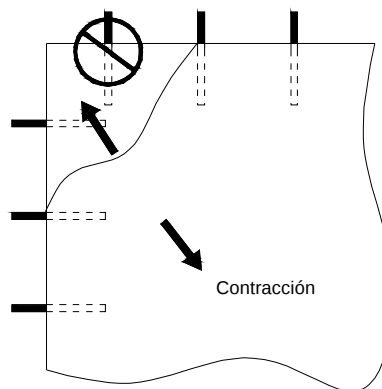


Figura 2.11. Pasajuntas en ambos sentidos y el agrietamiento típico si la restricción a la contracción es excesiva.

El sistema más novedoso de transferencia de carga con pasajuntas es mediante placas de acero. Las placas son de forma rectangular usadas en las juntas de contracción y también en forma de diamante (cuadradas) para las juntas de construcción.

Las pasajuntas en forma de placas, ofrecen las siguientes ventajas en comparación con las tradicionales barras redondas de acero.

- Fáciles de instalar.
- Permiten movimiento horizontal de la losa.
- Minimizan concentraciones de esfuerzo tanto en la losa como en las pasajuntas.

La efectividad de las varillas pasajuntas vecinas es directamente proporcional a la carga igual a $1.8 l$, siendo l la rigidez relativa ya conocida. Las condiciones más desfavorables se presentarán en las esquinas, generalmente se coloca la primera varilla pasajuntas a una distancia mínima de 15 cm del borde exterior del pavimento.

A continuación se da la tabla obtenida por Friberg para las capacidades de transmisión de cargas en kg, de una losa a otra según la anchura de la junta y el diámetro de la varilla empleada.

Capacidad de transmisión de cargas, en kg, de los pasajuntas				
Tipo de Pasajuntas	$\leq$ Junta de 12 mm	Junta de 12-18 mm	$>$ Junta de 18 mm	Longitud recomendada en cm
Varilla N° 6	600	550	500	30.0
Varilla N° 8	1100	1050	1000	32.5
Varilla N° 10	1700	1650	1600	35.0
$\geq$ Varilla N° 12	2500	2400	2300	37.5

Tabla 2.5. Capacidad de transmisión de cargas, en kg, de los pasajuntas

Fuente: Vías de Comunicación, Crespo Villalaz Carlos, 1996.

METODOLOGÍA DE DIMENSIONAMIENTO EN ESTACIONAMIENTOS Y PISOS INDUSTRIALES

3.1. Generalidades

Muchas variables determinan directa o indirectamente los requerimientos de espesor para losas de concreto.

Incluir todas ellas en un solo método de diseño sería excesivo y complejo por lo que podría llevar a una sobre confianza en el diseño como forma de garantizar un buen desempeño del piso.

Algunas veces la deficiencia en la mano de obra en lugar de un mal diseño o especificación son las causas de un mal comportamiento de los pisos.

Dado que la parte superior de un piso es la que evalúa el usuario, normalmente se pone mayor atención a la construcción de la parte superficial de la losa que al diseño del espesor de la losa.

Sin embargo, por razones de diseño estructural se debe escoger un espesor de losa. Basado en extensos estudios y muchas prácticas de laboratorio, el método de la Asociación del Cemento Portland para losas de concreto, está bien establecido y aceptado a nivel mundial.

Los factores que se requieren para el diseño del espesor de losa a través del método de la Asociación del Cemento Portland son:

- Módulo de reacción de la subrasante y la subbase: Se determina mediante pruebas de placa; sin embargo, pueden utilizarse correlaciones como las presentadas en la figura 3.1, donde este parámetro se relaciona con el valor soporte de California (C.B.R.).

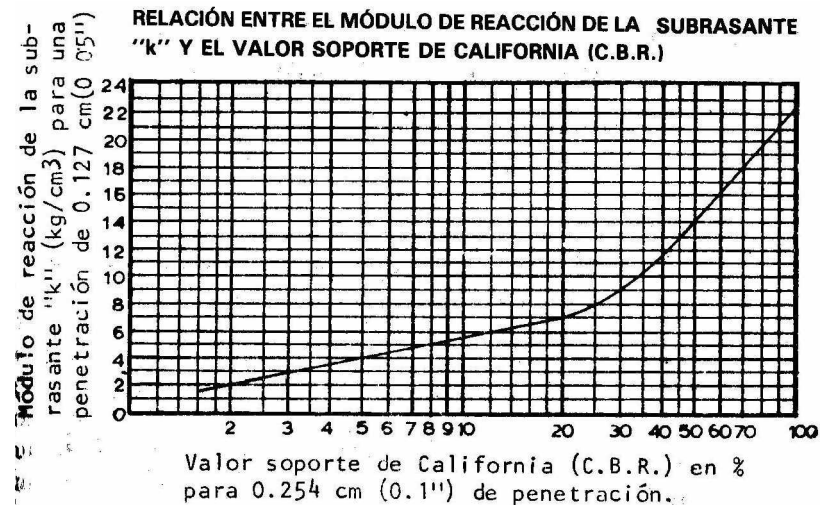


Figura 3.1. Relación entre el módulo de reacción de la subrasante "k" y el valor soporte de California

Fuente: Vías de Comunicación, Crespo Villalaz Carlos, 1996.

- Resistencia del concreto: La resistencia a la flexión del concreto está definida por el módulo de ruptura, MR, determinado a los 28 días de edad.
- Ubicación y frecuencia de cargas impuestas.
- Magnitud de las cargas, incluyendo las de construcción.

Existen dos propiedades del concreto que para efectos del método de diseño de la PCA se mantienen fijas o constantes, sabiendo de antemano que ambas propiedades tienen poca influencia en el diseño del espesor de la losa.

Los valores que se usaron para desarrollar las gráficas de diseño son módulo de elasticidad $E = 281,227 \text{ kg/cm}^2$ (4,000,000 psi) y módulo de poisson $m = 0,15$.

3.2. Esfuerzos de Flexión y Factores de Seguridad

La flexión es un criterio admisible para el diseño debido a que se relaciona directamente el comportamiento estructural global del piso bajo cierta condición de carga.

Esta resistencia a la flexión también se la conoce como el módulo de ruptura y se abrevia MR, mientras que la resistencia a compresión se refiere directamente al comportamiento del material, es decir, únicamente al concreto.

Es de todos modos conocido que la resistencia a la flexión es proporcional a la resistencia a la compresión y mientras más grande sea la resistencia a la compresión, mayor también será la resistencia a la flexión y a pesar que existen correlaciones entre una y otra siempre será más recomendable hacer pruebas de laboratorio para tener la mayor confiabilidad.

Uno de los pasos preliminares en el diseño de espesores de losa es determinar los esfuerzos de flexión que el concreto puede soportar, es decir, los esfuerzos de flexión permisibles.

El esfuerzo permitido de trabajo se determina dividiendo la resistencia a la flexión del concreto entre un apropiado factor de seguridad.

La carga sobre un piso de concreto inducirá esfuerzos en él y el trabajo del diseñador es mantener ese esfuerzo debajo del permitido por el concreto y su espesor.

Los factores de seguridad para cargas de vehículos han sido determinados por experiencias obtenidas en el desempeño de los pavimentos y consideran la influencia del número de repeticiones de carga, esfuerzos por contracción e impactos.

Los factores de seguridad apropiados para cargas estáticas, ya sean concentradas o distribuidas, no están bien establecidos por falta de experiencia o investigación.

Se debe de tomar precauciones para ciertas consideraciones de diseño y requerimientos especiales de desempeño y determinar las características de desempeño de la losa bajo condiciones similares de carga.

Para cargas aplicadas cerca o en los bordes de la losa los esfuerzos de flexión calculados serán de un 50 a 60% mayores que los calculados para posiciones de carga en el interior de la losa.

Cuando se presenta la transferencia de carga a través de la junta (tanto con pasajuntas como con trabazón de agregados), los esfuerzos de flexión en el borde disminuyen, sin embargo, esta disminución depende de la eficiencia obtenida en la transferencia de carga.

Debido a que el esfuerzo por flexión es 50% a 60% mayor en los bordes de la losa sin una adecuada transferencia de carga, el espesor de la losa se debe incrementar en los casos de juntas sin pasajuntas, aunque las juntas están en la parte interna o en la periferia de la losa. El aumentar el espesor de la losa compensa la falta de transferencia de carga y mantienen los esfuerzos por flexión en los bordes dentro de límites seguros.

3.3. Parámetros de Dimensionamiento

3.3.1. Cargas de Vehículos

El procedimiento de diseño para cargas de vehículos involucra la determinación de los siguientes factores de diseño:

- Carga de eje máxima.
- Número de repeticiones de carga.
- Área de contacto de la llanta.
- Espaciamiento de ruedas del eje más pesado.
- Resistencia de la subrasante.
- Resistencia de flexión del concreto MR.
- Factor de seguridad.
- Transferencia de carga en las juntas.



Figura 3.2. Diversos tipos de cargas vehiculares aplicadas sobre el piso

En los casos con largas separaciones de juntas, digamos juntas separadas a más de 4 ó 4.5 metros, el uso de barras pasajuntas en las juntas de contracción es muy recomendado, debido a que la transferencia de carga por trabazón de agregados no resultará efectiva al tener una junta o grieta que abra demasiado.

Para los casos de separaciones de juntas pequeñas, como de 3 metros pueden proveer una buena transferencia de carga si la junta o grieta no abre demasiado.

Si no se desea proveer transferencia de carga se puede incrementar el espesor de la losa en el área de la junta para mejorar su desempeño bajo la aplicación de la carga.

Normalmente se recomienda incrementar el espesor un 20%; sin embargo, esta práctica que era común en el pasado ya no lo es en la actualidad por lo complicado que esto resulta en la construcción.

El diseño del piso requiere que el tráfico sea estimado de forma correcta, incluyendo la siguiente información:

- Magnitudes de las cargas.
- Frecuencias.
- Configuraciones de los ejes de los vehículos que circularían en el piso.

La magnitud de las cargas cuantifica la fuerza actuante sobre el piso, mientras que la frecuencia se refiere al número de veces que una magnitud de carga dada es aplicada al concreto.

La falla provocada por la repetición de carga se conoce como fatiga y también se manifiesta con agrietamiento. Adicionalmente, la geometría de las llantas en los ejes afecta en la manera en que los esfuerzos son aplicados a la losa.

Los datos de tráfico y cargas necesarias para el diseño del piso industrial o estacionamiento permitirán seleccionar un adecuado factor de seguridad para determinar los esfuerzos de trabajo permisibles.

Para pisos, el factor de seguridad es la relación de la resistencia a la flexión del concreto (módulo de ruptura) entre el esfuerzo de trabajo a flexión, lo que puede entenderse como la capacidad total admisible que pueda ocurrir antes de la falla, con la resistencia utilizada.

El inverso del factor de seguridad (esfuerzo de trabajo dividido entre la resistencia a la flexión) se conoce como relación de esfuerzos y en estudios de fatiga, los valores de la relación de esfuerzos influyen en el número de repeticiones de carga permisibles.

Mientras la relación de esfuerzos se mantenga por debajo de 0.45, el concreto puede resistir un número ilimitado de repeticiones de carga sin presentar agrietamiento por fatiga.

Para relaciones de esfuerzos mayores de 0.45 (factor de seguridad menor que 2.2), la tabla 3.1, presenta el número máximo de repeticiones de carga que puede ser permitido sin causar agrietamiento por fatiga.

Relación de esfuerzos	Repeticiones de Cargas Permisibles	Relación de esfuerzos	Repeticiones de Cargas Permisibles
<0.45	Ilimitadas	0.73	832
0.45	62,790,761	0.74	630
0.46	14,335,236	0.75	477
0.47	5,202,474	0.76	361
0.48	2,402,754	0.77	274
0.49	1,286,914	0.78	207
0.50	762,043	0.79	157
0.51	485,184	0.80	119
0.52	326,334	0.81	90
0.53	229,127	0.82	68
0.54	166,533	0.83	52
0.55	124,523	0.84	39
0.56	94,065	0.85	30
0.57	71,229	0.86	22
0.58	53,937	0.87	17
0.59	40,842	0.88	13
0.60	30,927	0.89	10
0.61	23,419	0.90	7
0.62	17,733	0.91	6
0.63	13,428	0.92	4
0.64	10,168	0.93	3
0.65	7,700	0.94	2
0.66	5,830	0.95	2
0.67	4,415	0.96	1
0.68	3,343	0.97	1
0.69	2,532	0.98	1
0.70	1,917	0.99	1
0.71	1,452	1.00	0
0.72	1,099	>1.00	0

Tabla 3.1. Relaciones de esfuerzo contra repeticiones de carga permitidas.

Fuente: Manual del Constructor, Cemex Concretos, 2003.

El factor de seguridad o su correspondiente relación de esfuerzo depende de la frecuencia de tráfico del montacargas más pesado.

Un factor de seguridad de 2.2 puede ser usado para todas las áreas del piso y en el caso de áreas muy grandes de piso puede resultar más económico el emplear diferentes factores de seguridad.

Las recomendaciones de la Asociación de Cemento Portland en materia de factores de seguridad es la siguiente:

- Pisos o áreas con un gran número de repeticiones esperadas de montacargas, se recomienda diseñarlos con un factor de seguridad alto (de 2.0 ó superior).
- En otras áreas donde se espera menor tráfico de montacargas se puede emplear un factor de seguridad entre 1.7 y 2.0.
- En áreas no críticas, como áreas de almacenamiento sin un constante tráfico de montacargas, el factor de seguridad podrá ser de 1.4 a 1.7.

Esta flexibilidad en el diseño puede en ocasiones tener ventajas económicas al permitir áreas de menor espesor o el uso de concretos de menor resistencia; sin embargo, habrá también que considerar que este tipo de decisiones puede limitar el futuro uso del piso y posibles ampliaciones al proyecto.

Debido a la gran variación de tamaños, cargas de ejes y espaciamiento de las llantas de los montacargas, no es práctico proveer de gráficas de diseño para cada vehículo específico.

Por consiguiente, dos gráficas de diseño, figuras 3.3 y 3.4, fueron preparadas y pueden ser usadas para configuraciones de carga y de ejes de la mayoría de los montacargas industriales que afectan el diseño de los pisos.

Las gráficas de diseño de espesores se presentan en su formato original y en las unidades en las que fueron desarrolladas, por lo que en su caso deben ser convertidas las unidades métricas a libras-pulgada antes de proceder al diseño de espesores por este método.

La figura 3.3, se emplea para montacargas equipados con ejes sencillos, es decir, ejes con una sola rueda de cada lado del eje, se entra a la gráfica con un esfuerzo de trabajo permisible por cada 1000 libras de carga en el eje.

Este esfuerzo de trabajo permisible es calculado por la división de la resistencia a la flexión del concreto entre el factor de seguridad y si es necesario entre el factor de junta y después dividir este resultado entre la carga del eje en kips. El factor de seguridad es obtenido por consideraciones de la relación de esfuerzos y las repeticiones de carga, como provee la tabla 3.1.

Para el caso de ejes dual, es decir, ejes equipados con doble llanta, las figuras 3.3, y 3.4, son usadas para determinar el espesor de la losa del piso.

Primero, se usa la figura 3.4, para convertir la carga del eje dual a una carga equivalente de eje sencillo (el eje cargado es multiplicado por el factor F). Después, con la carga equivalente, se usa la figura 3.3, para determinar los esfuerzos de flexión en la losa.

El área de contacto de la carga se refiere al área de una llanta en contacto directo con la losa, sin importar el diseño o huella de la llanta.

Si los datos de la llanta no se conocen, el área de contacto puede ser estimada para el caso de llantas neumáticas dividiendo la carga de la llanta entre la presión de inflado y en el caso de ruedas sólidas, el área de contacto puede ser más o menos estimada multiplicando el ancho de la llanta (en pulgadas) por 3 ó 4.

Cuando el área de contacto de la llanta fue determinada, se usa la figura 3.5, para encontrar el área efectiva de contacto a usar en las gráficas de diseño.

Esta corrección se hace porque los esfuerzos en las losas provocados por pequeñas áreas de contacto son sobre estimados cuando se calculan por las teorías convencionales.

Las bases para este ajuste fueron dadas por la teoría de Westergaard en 1925 (estos mismos ajustes son usados para cargas en postes).

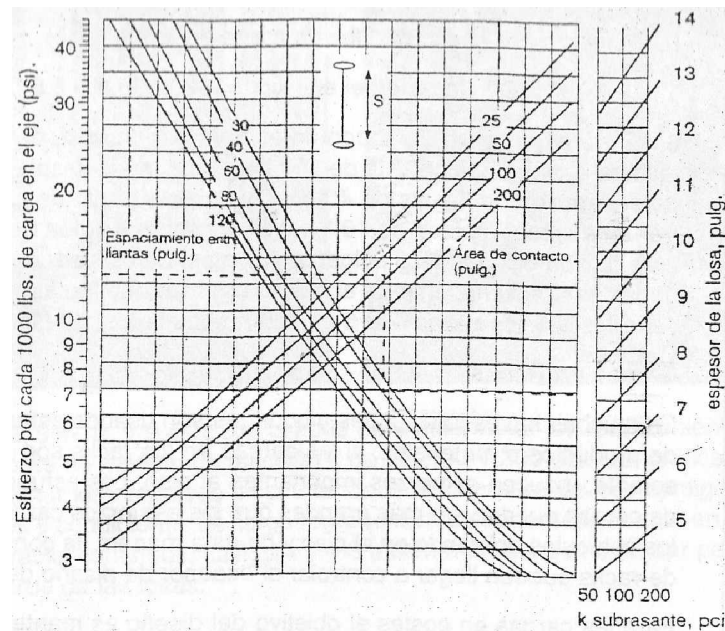


Figura 3.3. Gráfica de diseño para ejes sencillos.

Fuente: Manual del Constructor, Cemex Concretos, 2003.

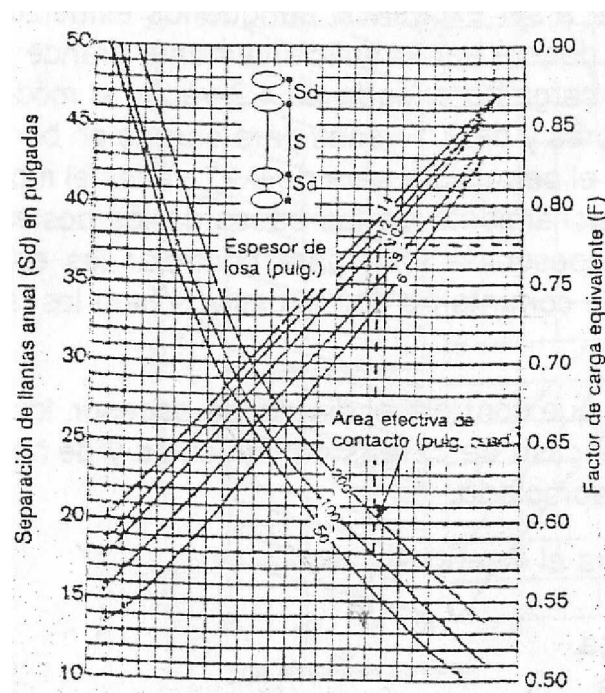


Figura 3.4. Gráfica de diseño para ejes dual.

Fuente: Manual del Constructor, Cemex Concretos, 2003.

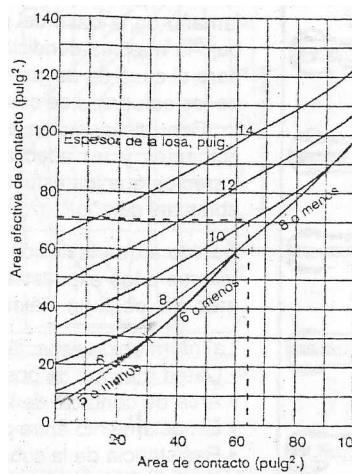


Figura 3.5. Área efectiva de contacto en función del espesor de la losa.

Fuente: Manual del Constructor, Cemex Concretos, 2003.

En uso de la figura 3.4, es necesario suponer un espesor inicial de losa; esto es un proceso de prueba y error que se debe comprobar al final con el diseño de espesor requerido. El grado de corrección se incrementa a medida que el área de contacto llega a ser muy pequeña y el espesor de la losa incrementa.

3.3.2. Cargas de Racks

En muchas naves industriales y bodegas son usados estantes o racks para el almacenamiento de productos o materiales, si las cargas en los racks son pesadas, los postes que soportan al estante, inducen esfuerzos importantes al piso.

Los esfuerzos de flexión de esa concentración de cargas pueden ser más grandes que los esfuerzos causados por las cargas de las llantas de los vehículos operando en el piso y de esta manera, la condición de carga de cargas por postes o racks pueden llegar a controlar el espesor de diseño de la losa.

Para las cargas en postes el objetivo del diseño es mantener el esfuerzo por flexión dentro de los límites de seguridad de la losa.

Dentro del rango de las variables de diseño presentadas en esta sección, la flexión controla el diseño del espesor de la losa.

Cuando los requerimientos por flexión son satisfechos con un adecuado espesor de losa, las presiones del suelo no son excesivas; y cuando son usadas las medidas apropiadas de la base de la placa, el concreto y los esfuerzos cortantes soportados no son excesivos.

Cuando se usan medidas inadecuadas de bases de los postes, la carga actuante y los esfuerzos de cortante pueden llegar a ser excesivos aunque los esfuerzos de flexión no lo sean.

El tamaño de la base del poste deberá ser lo suficientemente grande para que la carga actuante bajo la máxima condición de carga no exceda de 4.2 veces el módulo de ruptura del concreto para el caso de cargas interiores y de 2.1 veces para cargas en bordes o esquinas.

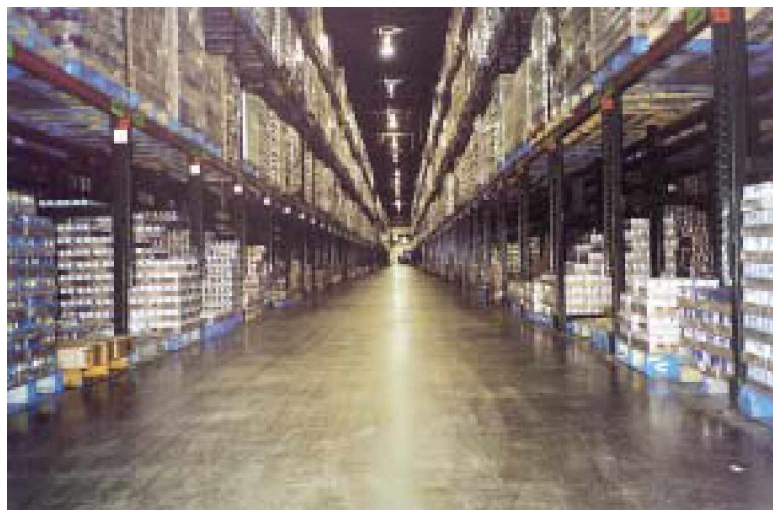
En el caso de los esfuerzos de cortante, el permisible será de 0.27 veces el módulo de ruptura del concreto. Con un adecuado dimensionamiento de las bases de los postes para controlar las cargas actuantes y un adecuado espesor de losa para controlar los esfuerzos de flexión, encontraremos que los esfuerzos de cortante no son excesivos para los rangos comunes de las variables del diseño.

Debido a que la flexión es la que controla el diseño de espesor, los factores del diseño son similares a los expuestos en el caso de cargas de vehículos y de hecho un factor de seguridad más alto es el normalmente apropiado.

La información específica para el diseño es:

- Carga máxima de poste.
- Área de contacto de la carga.
- Espaciamiento entre postes

- Resistencia de la subrasante.
- Resistencia a la flexión del concreto MR.
- Factor de seguridad.



Las figuras 3.6a, 3.6b, y 3.6c, son usadas para determinar los requerimientos de espesor de losa, para valores de módulo de reacción k de 50, 100 y 200 pci.

Las gráficas fueron desarrolladas para estimar los esfuerzos en el interior de la losa para dos configuraciones equivalentes de postes y condiciones de carga representadas esquemáticamente en la figura 3.7, que representan racks continuos.

La figura 3.8, muestra esquemáticamente un esquema similar para la condición de carga en el borde de las losas.

La condición de carga en el borde presenta esfuerzos mayores en los pisos, que pueden significar mayor cantidad de agrietamiento.

Una manera de tratar con esfuerzos mayores es modificando el esfuerzo de trabajo mediante el factor de junta antes de entrar a la figura 3.6.

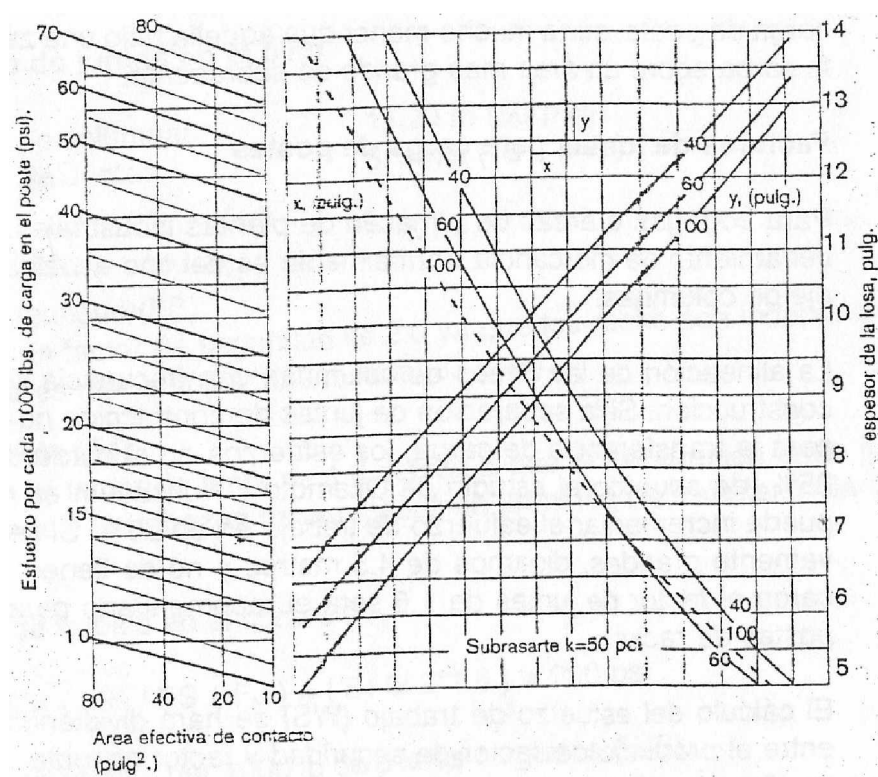


Figura 3.6a. Gráfica de diseño para cargas en poste, con subrasante de módulo de reacción $k=50$ pci.

Fuente: Manual del Constructor, Cemex Concretos, 2003.

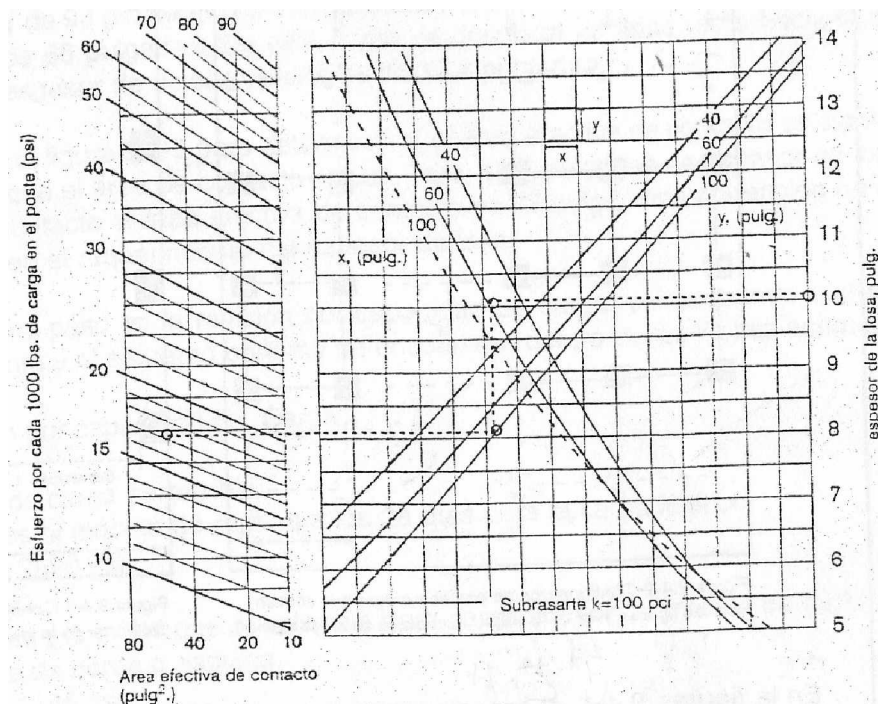


Figura 3.6b. Gráfica de diseño para cargas en poste, con subrasante de módulo de reacción $k=100$ pci.

Fuente: Manual del Constructor, Cemex Concretos, 2003.

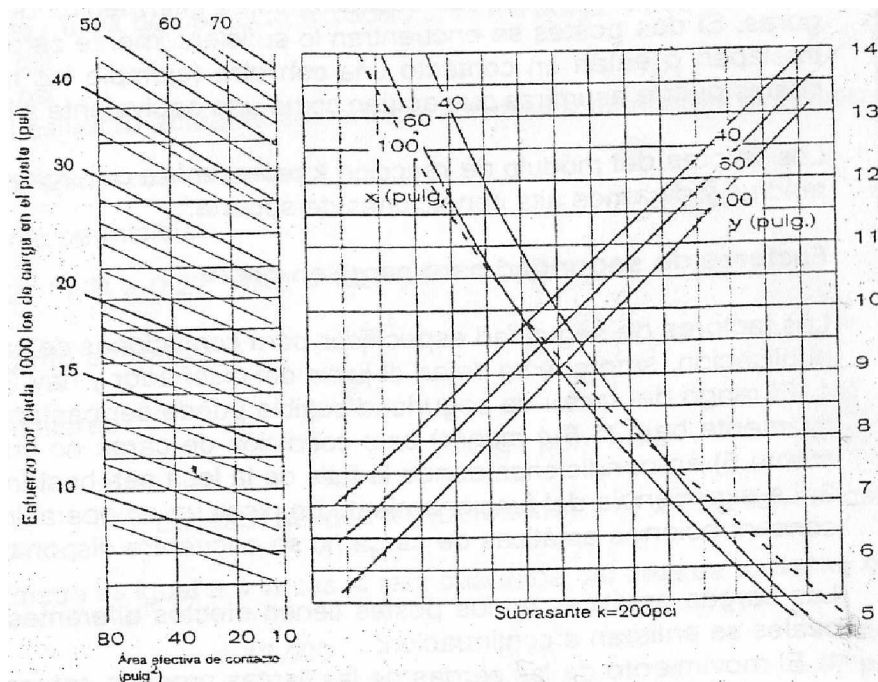


Figura 3.6c. Gráfica de diseño para cargas en poste, con subrasante de módulo de reacción $k=200$ pci.

Fuente: Manual del Constructor, Cemex Concretos, 2003.

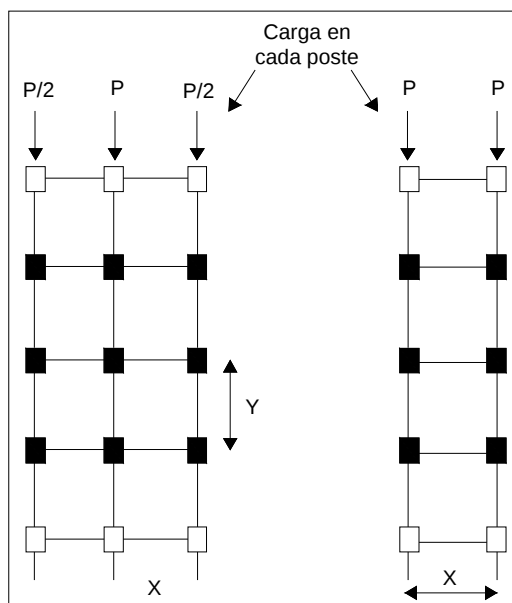


Figura 3.7. Configuración de Postes y cargas que aplican para las figuras 3.6a, 3.6b y 3.6c
(Condición de carga interior)

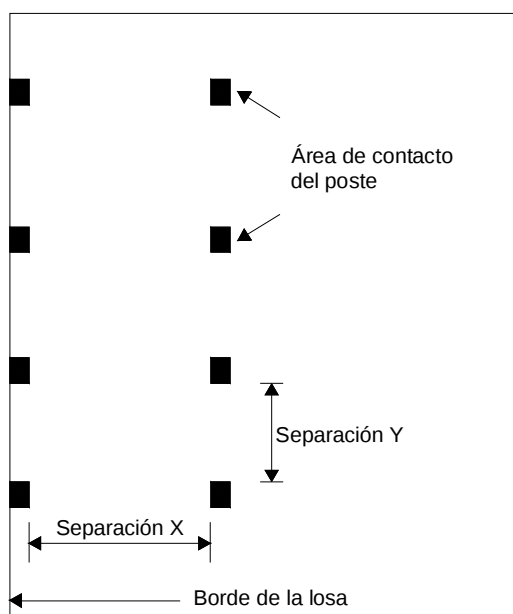


Figura 3.8. Configuración de postes y cargas a lo largo del borde de la losa.

En las figuras 3.6, el espaciamiento de postes Y es la separación en la dirección longitudinal de un rack continuo y X es el espaciamiento transversal.

Las gráficas proveen espaciamentos de 40 a 100 pulgadas y los espaciamentos intermedios deberán ser interpolados en estas figuras.

Si dos postes se encuentran lo suficientemente cercanos de manera que sus bases se traslapan o están en contacto una con otra (ejemplo los racks de espalda con espalda), los postes pueden asumirse que actúen como uno equivalente a la suma de sus cargas combinadas.

Los valores de módulo de reacción k representan condiciones genéricas del suelo para bajas, medias y digamos altas condiciones de soporte.

3.3.3. Otros Parámetros

3.3.3.1. Factores de Seguridad para Carga en Poste

Los factores de seguridad específicos para condiciones de carga estática, se dejan al juicio del diseñador y hay dos razones para esto:

- El rango del factor de seguridad posible puede ser bastante amplio; el factor puede ser relativamente bajo (1.5 ó menor) bajo condición de carga no crítica, o bastante alto (aproximadamente 5) en condiciones donde la falla de la losa sea bastante seria.
- La experiencia del funcionamiento de pisos ya en operación y de datos experimentales para concentraciones estáticas de carga no se encuentra disponible.

Las cargas estáticas en los postes tienen efectos diferentes que las cargas en vehículos, los cuales se enlistan a continuación:

- El movimiento de las cargas de las llantas produce esfuerzos menores en las losas que las cargas estáticas de la misma magnitud.
- Los efectos del flujo plástico reducen los esfuerzos bajo condición de carga estática.

Estas son las razones para usar en el caso de racks altos, factores de seguridad más grandes que los usados en racks de poca altura, cargas de vehículos o cargas distribuidas.

Los postes de los estantes son diseñados algunas veces para soportar parcialmente el techo de la estructura y los efectos o diferencias de deflexión; entre postes de los racks se incrementan con racks altos.

Dado que falta mucha publicación de datos sobre la experiencia del desempeño de racks cargados en pisos industriales, no es posible recomendar con mucha confianza factores de seguridad a emplear, como en el caso de cargas vehiculares.

Esto hace que sea muy importante considerar cuidadosamente las características de este tipo de carga y las expectativas de desempeño.

El factor de seguridad más alto recomendado es de 4.8, aplicable para los casos en que los postes se consideren como un elemento estructural crítico, es decir, como una columna.

El valor de 4.8 es considerado el límite máximo del rango del factor de seguridad porque la condición de carga de postes de racks usualmente no es tan crítica como en el caso de columnas sobre zapatas. Las columnas se encuentran considerablemente espaciadas y cada una soporta gran parte de la carga estructural total.

La diferencia fundamental entre los dos tipos de cargas recae en las diferentes presiones que la estructura ejerce al suelo.

La presión ejercida al suelo debajo de una zapata puede acercarse a la capacidad de carga permisible del suelo y si una falla ocurriese en la zapata, la capacidad de carga del suelo sería excedida y habría la posibilidad de presentarse un sentamiento, penetración, etc.

Por otro lado, la presión ejercida al suelo bajo una losa de espesor adecuado soportando una carga de poste, sería mucho menor que aquella bajo una zapata, debido a que la losa distribuye la carga sobre un área más grande de subrasante.

3.3.3.2. Factores de Juntas para Carga de Postes

Para bodegas o áreas de almacén de plantas industriales, los racks empleados para el almacenamiento de mercancía normalmente son del tipo espalda con espalda y paralelo a la línea o eje de columnas.

La alineación de las líneas de columnas con frecuencia coincide con juntas de contracción o construcción. Si la separación de juntas de contracción no es grande y se emplean pasajuntas para la transferencia de carga, los esfuerzos en el borde de la losa se reducen de un 20 a un 25%, lo cuál se traduce en que se puede incrementar el esfuerzo de trabajo en un 20%. Si se usan separaciones de juntas relativamente grandes, digamos de 4.5 metros y no se tienen pasajuntas para la transferencia de carga el factor de juntas de 1.6 será el recomendado para la condición de carga de racks.

El cálculo del esfuerzo de trabajo (WS) se hará dividiendo el módulo de ruptura del concreto entre el producto del factor de seguridad y factor de junta.

Así, si necesitamos, las figuras 3.6a, 3.6b, y 3.6c, para condiciones de carga ubicada en el interior de la losa, pueden ser usadas para la condición de carga de poste ubicada en el borde de la losa siempre y cuando usemos el factor de junta al momento de calcular el esfuerzo de trabajo.

Una vez seleccionado un factor de seguridad y un factor de juntas apropiados basándose en las condiciones de carga críticas, se usan las figuras 3.6a, 3.6b, ó 3.6c, para establecer el espesor de diseño de la losa basado en esfuerzos de flexión. Los esfuerzos cortantes y los esfuerzos de carga actuante también deben ser calculados para determinar si los valores están dentro de los límites de seguridad.

3.3.3.3. Cargas Distribuidas

Las cargas distribuidas son las cargas que convencionalmente actúan sobre un área grande del piso. Las cargas son el resultado del material almacenado directamente en el piso dentro del área de almacenamiento.

Las cargas concentradas son las que normalmente controlan el diseño del piso pues estas producen esfuerzos a tensión mayores que las cargas distribuidas.

Sin embargo, después que un espesor de losa ha sido seleccionado considerando el vehículo más pesado y las cargas por postes de racks, los efectos de las cargas distribuidas también deben ser examinados. Un ejemplo de cargas distribuidas es mostrado en la figura 3.9.

El diseño del piso, bajo condición de cargas distribuidas tiene los siguientes objetivos:

- Prevenir grietas en los pasillos o áreas no cargadas, debido al momento negativo (tensión en la superficie de la losa).
- Evitar asentamientos debido a la consolidación del suelo de soporte.

Normalmente las cargas distribuidas colocadas directamente sobre la losa de concreto no son lo suficientemente grandes para provocar asentamientos excesivos de subrasante bien preparadas y compactadas.

A pesar que el construir losas de concreto de mayor espesor puede ayudar a controlar el agrietamiento, no va a prevenir el asentamiento del terreno de soporte.

Para el caso de cargas distribuidas muy pesadas siempre será recomendable examinar la posibilidad de consolidación del suelo por un especialista en mecánica de suelos.

Cargas distribuidas muy pesadas aplicadas sólo en algunas partes del piso pueden provocar asentamientos diferenciales y deformación de la losa de concreto.

Los esfuerzos de momento actuantes por deformaciones de la losa pueden sumarse a los esfuerzos de momento negativo en pasillo, provocando agrietamiento en las zonas no cargadas.



Figura 3.9. Cargas distribuidas en contacto directo con la superficie del piso.

3.3.3.4. Cargas Máximas y Ancho Crítico de Pasillos

Para cierto espesor de losa y resistencia de la subrasante existe un ancho crítico del pasillo, para el cual se presenta el esfuerzo máximo de la losa. Tal y como se muestra en la tabla 3.2, las cargas permisibles para el ancho crítico de pasillo son menores que las cargas admisibles para cualquier otro ancho de pasillo.

CARGA DISTRIBUIDA PERMISIBLE				Módulo de Ruptura (MR)							
Para cargas sin arreglos definidos				550	38.67	600	42.18	650	45.70	700	49.21
				psi	Kg/cm ²	psi	Kg/cm ²	psi	Kg/cm ²	psi	Kg/cm ²
Espesor		K		CARGA PERMISIBLE							
in	cm	pci	Kg/cm ³	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²
5	12.7	50	1.39	535	2.612	585	2.856	635	3.100	685	3.344
		100	2.77	760	3.711	830	4.052	900	4.394	965	4.712
		200	5.54	1.075	5.249	1.175	5.737	1.270	6.201	1.370	6.689
6	15.24	50	1.39	565	2.856	640	3.125	695	3.393	750	3.682
		100	2.77	830	4.052	905	4.419	980	4.785	1.055	5.151
		200	5.54	1.175	5.737	1.280	6.249	1.390	6.787	1.495	7.299
8	20.3	50	1.39	680	3.320	740	3.613	800	3.906	865	4.223
		100	2.77	960	4.687	1.045	5.102	1.135	5.542	1.220	5.957
		200	5.54	1.355	6.616	1.480	7.226	1.603	7.826	1.725	8.422
10	25.4	50	1.39	760	3.711	830	4.052	895	4.370	965	4.712
		100	2.77	1.070	5.224	1.170	5.712	1.265	6.176	1.635	7.983
		200	5.54	1.515	7.397	1.655	8.080	1.790	8.739	1.930	9.423
12	30.5	50	1.39	830	4.052	905	4.419	980	4.785	1.055	5.151
		100	2.77	1.175	5.737	1.280	6.249	1.390	6.787	1.495	7.299
		200	5.54	1.660	8.105	1.810	8.837	1.965	9.594	2.115	10.326
14	35.6	50	1.39	895	4.370	980	4.785	1.060	5.175	1.140	5.566
		100	2.77	1.270	6.201	1.385	6.762	1.500	7.324	1.615	7.885
		200	5.54	1.795	8.764	1.960	9.570	2.120	10.351	2.285	11.156

Tabla 3.2. Cargas Distribuidas, con carga de arreglo no definido o fijo.

Fuente: Manual del Constructor, Cemex Concretos, 2003.

Esto significa que hacer pasillos ya sean más angostos o más anchos permitirá colocar cargas más pesadas sobre la losa.

El ancho crítico del pasillo existe cuando el momento actuante máximo, debido a la carga de un lado del pasillo, coincide con el punto máximo momento debido a la carga en el otro lado del pasillo, por lo que duplica el momento negativo (tensión en la parte superior de la losa) en el centro del pasillo.

Para cualquier otro ancho de pasillo, diferente al crítico, el momento actuante máximo debido a las cargas de cada lado del pasillo no coincide, haciendo que de hecho la carga de un lado contrarreste el esfuerzo causado por la carga en el otro lado.

El momento negativo de flexión que se presenta en un pasillo entre áreas de carga distribuidas puede llegar a ser hasta el doble del momento presentado bajo el área cargada. Como resultado de esto, uno de los objetivos del diseño es limitar este esfuerzo de momento negativo en el pasillo para que no se presente agrietamiento.

La tabla 3.2, se usa en los casos en que tanto el pasillo como el arreglo de las cargas puede ser variable y cambiar durante la vida útil del piso.

Si el arreglo de las cargas esta perfectamente definido y permanecerá fijo durante toda la vida útil del proyecto las tablas a usar serán la 3.3.

CARGA DISTRIBUIDA PERMISIBLE (Para arreglo fijo o definido de la carga)																
Espesor		Esfuerzo de trabajo (psi)	Ancho crítico de pasillo		Al Ancho crítico de pasillo		En Pasillo de 6 pies de ancho (1.8 m)		En Pasillo de 8 pies de ancho (2.4 m)		En Pasillo de 10 pies de ancho (3.0 m)		En Pasillo de 12 pies de ancho (3.6 m)		En Pasillo de 14 pies de ancho (4.2 m)	
pulg	cm		pies	m	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²
Módulo de Reacción k de la subrasante = 50 pci																
5	12.7	300	5.6	1.7	610	2,978	615	3,003	670	3,271	815	3,979	1,050	5,127	1,215	5,932
		350	5.6	1.7	710	3,467	7,215	35,227	685	3,833	950	4,638	1,225	5,981	1,420	6,933
		400	5.6	1.7	815	3,979	820	4,004	895	4,370	1,085	5,297	1,400	6,835	1,620	7,909
6	15.2	300	6.4	2.0	670	3,271	675	3,296	695	3,393	780	3,808	945	4,614	1,175	5,737
		350	6.4	2.0	785	3,833	785	3,833	810	3,955	910	4,443	1,100	5,371	1,370	6,689
		400	6.4	2.0	895	4,370	895	4,370	925	4,516	1,040	5,078	1,260	6,152	1,570	7,665
8	20.3	300	8.0	2.4	770	3,759	800	3,906	770	3,759	800	3,906	980	4,297	1,010	4,931
		350	8.0	2.4	900	4,394	950	4,638	900	4,394	935	4,565	1,025	5,004	1,180	5,761
		400	8.0	2.4	1,025	5,004	1,070	5,224	1,025	5,004	1,065	5,200	1,175	5,737	1,350	6,591
10	25.4	300	9.4	2.9	845	4,126	930	4,541	855	4,174	950	4,638	885	4,321	960	4,687
		350	9.4	2.9	985	4,809	1,065	5,297	1,000	4,882	990	4,834	1,035	5,053	1,120	5,468
		400	9.4	2.9	1,130	5,517	1,240	6,054	1,145	5,590	1,135	5,542	1,185	6,786	1,285	6,274
12	30.5	300	10.8	3.3	915	4,467	1,065	5,200	955	4,663	915	4,467	925	4,516	965	4,712
		350	10.8	3.3	1,065	5,200	1,240	6,054	1,145	5,444	1,070	5,224	1,080	5,273	1,125	5,493
		400	10.8	3.3	1,220	5,957	1,420	6,933	1,270	6,201	1,220	5,967	1,230	6,005	1,290	6,298
14	35.6	300	12.1	3.7	980	4,785	1,225	5,981	1,070	5,224	1,000	4,882	980	4,785	995	4,858
		350	12.1	3.7	1,145	5,590	1,430	6,982	1,245	6,079	1,070	5,712	1,145	5,590	1,160	5,664
		400	12.1	3.7	1,310	6,396	1,630	7,958	1,425	6,957	1,335	6,518	1,310	6,396	1,330	6,494

Tabla 3.3a. Carga distribuida permisible, con arreglos de carga definido, para módulo de reacción k de la subrasante = 50 pci

Fuente: Manual del Constructor, Cemex Concretos, 2003.

CARGA DISTRIBUIDA PERMISIBLE (Para arreglo fijo o definido de la carga)																
Espesor		Esfuerzo de trabajo (psi)	Ancho crítico de pasillo		Al Ancho crítico de pasillo		En Pasillo de 6 pies de ancho (1.8 m)		En Pasillo de 8 pies de ancho (2.4 m)		En Pasillo de 10 pies de ancho (3.0 m)		En Pasillo de 12 pies de ancho (3.6 m)		En Pasillo de 14 pies de ancho (4.2 m)	
pulg	cm		pies	m	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²
Módulo de Reacción k de la subrasante = 100 pci																
5	12.7	300	4.7	1.4	865	4,223	900	4,394	1,090	5,322	1,470	7,177	745	8,520	1,810	8,837
		350	4.7	1.4	1,010	4,931	1,050	5,127	1,270	6,201	1,715	8,373	2,035	9,236	2,115	10,326
		400	4.7	1.4	1,015	5,444	1,200	5,859	1,455	7,104	1,955	9,545	2,325	11,352	2,415	11,791
6	15.2	300	5.4	1.6	950	4,638	955	4,663	1,065	5,200	1,320	6,445	1,700	8,300	1,925	9,399
		350	5.4	1.6	1,105	5,395	1,115	5,444	1,245	6,079	1,540	7,519	1,985	9,692	2,245	10,961
		400	5.4	1.6	1,265	6,176	1,275	6,225	1,420	6,933	1,760	8,593	2,270	11,083	2,565	12,523
8	20.3	300	6.7	2.0	1,095	5,346	1,105	5,395	1,120	5,468	1,240	6,054	1,465	7,153	1,815	6,662
		350	6.7	2.0	1,280	6,249	1,285	6,274	1,305	6,372	1,445	7,053	1,705	8,324	2,120	10,351
		400	6.7	2.0	1,460	7,128	1,470	7,177	1,495	7,299	1,650	8,056	1,950	9,521	2,420	11,815
10	25.4	300	7.9	2.4	1,215	5,932	1,265	6,176	1,215	5,932	1,270	6,201	1,395	6,811	1,160	7,861
		350	7.9	2.4	1,420	6,933	1,475	7,202	1,420	6,933	1,480	7,223	1,630	7,958	1,880	9,179
		400	7.9	2.4	1,625	7,934	1,645	8,032	1,625	7,934	1,690	8,251	1,560	9,081	2,150	10,497
12	30.5	300	9.1	2.8	1,320	6,445	1,425	6,957	1,325	6,469	1,330	6,494	1,400	6,830	1,535	7,494
		350	9.1	2.8	1,540	7,519	1,685	8,129	1,545	7,543	1,550	7,568	1,635	7,983	1,880	9,179
		400	9.1	2.8	1,755	8,569	1,900	9,277	1,770	8,642	1,770	8,542	1,865	9,106	2,050	10,009
14	35.6	300	10.2	3.1	1,405	6,860	1,590	7,763	1,445	7,055	1,405	5,860	1,435	7,006	1,525	7,446
		350	10.2	3.1	1,640	8,007	1,855	9,057	1,685	8,227	1,640	8,007	1,675	8,178	1,775	8,668
		400	10.2	3.1	1,875	9,155	2,120	10,351	1,925	9,399	1,875	9,155	1,915	9,350	2,030	9,911

Tabla 3.3b. Carga distribuida permisible, con arreglos de carga definido, para módulo de reacción k de la subrasante = 100 pci

Fuente: Manual del Constructor, Cemex Concretos, 2003.

CARGA DISTRIBUIDA PERMISIBLE (Para arreglo fijo o definido de la carga)																
Espesor		Esfuerzo de trabajo (psi)	Ancho crítico de pasillo		Al Ancho crítico de pasillo		En Pasillo de 6 pies de ancho (1.8 m)		En Pasillo de 8 pies de ancho (2.4 m)		En Pasillo de 10 pies de ancho (3.0 m)		En Pasillo de 12 pies de ancho (3.6 m)		En Pasillo de 14 pies de ancho (4.2 m)	
			pies	m	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²
pulg	cm															
Módulo de Reacción k de la subrasante = 200 pci																
5	12.7	300	5.6	1.7	1,225	5,981	1,400	6,835	1,930	9,423	2,450	11,962	2,565	12,523	2,520	12,304
		350	5.6	1.7	1,425	6,597	1,630	7,958	2,255	11,010	2,860	13,964	2,990	14,598	2,940	14,354
		400	5.6	1.7	1,630	7,958	1,865	9,106	2,575	12,572	3,270	15,965	3,420	16,698	3,360	16,405
6	15.2	300	6.4	2.0	1,340	6,542	1,415	6,909	1,755	8,569	2,395	11,593	2,740	13,378	2,810	13,720
		350	6.4	2.0	1,565	7,641	1,650	8,056	2,050	10,009	2,800	13,671	3,200	15,624	3,275	15,990
		400	6.4	2.0	1,785	8,715	1,890	9,228	2,345	11,449	3,190	15,575	3,655	17,845	3,745	18,285
8	20.3	300	8.0	2.4	1,550	7,568	1,550	7,568	1,695	8,276	2,045	9,985	2,635	12,865	3,070	14,989
		350	8.0	2.4	1,810	8,837	1,810	8,837	1,980	9,667	2,385	11,645	3,075	15,013	3,580	17,479
		400	8.0	2.4	2,065	10,082	2,070	10,107	2,615	12,767	2,730	13,329	3,515	17,162	4,095	19,993
10	25.4	300	9.4	2.9	1,730	8,447	1,745	8,520	1,775	8,666	1,965	9,594	2,330	11,376	2,895	14,135
		350	9.4	2.9	2,020	9,862	2,035	9,936	2,070	10,107	2,290	11,181	2,715	13,256	2,300	16,112
		400	9.4	2.9	2,310	11,278	2,325	11,352	2,365	11,547	2,620	12,792	3,105	15,160	3,860	18,846
12	30.5	300	10.8	3.3	1,890	9,228	1,945	9,496	1,895	9,252	1,995	9,740	2,230	10,888	2,610	12,743
		350	10.8	3.3	2,205	10,765	2,270	11,083	2,210	10,790	2,330	11,876	2,600	12,694	3,045	14,867
		400	10.8	3.3	2,520	12,303	2,595	12,370	2,525	12,328	2,660	12,980	2,972	14,510	3,480	16,991
14	35.6	300	12.1	3.7	2,025	9,867	2,150	10,497	2,030	9,911	2,065	10,082	2,210	10,790	2,480	12,108
		350	12.1	3.7	2,360	11,522	5,510	12,255	2,365	11,547	2,405	11,742	2,580	12,597	2,890	14,110
		400	12.1	3.7	2,700	13,182	2,370	14,012	2,705	13,207	2,750	13,427	2,950	14,403	3,305	16,136

Tabla 3.3c. Carga distribuida permisible, con arreglos de carga definido, para módulo de reacción k de la subrasante = 200 pci

Fuente: Manual del Constructor, Cemex Concretos, 2003.

Las tablas para calcular la carga distribuida permisible, es importante mencionar que el valor del módulo de reacción k a emplear es el del terreno natural, y no el módulo de reacción k efectivo que considera la aportación de una capa de base o sub-base, lo cual se hace en el caso de cargas vehiculares o cargas de postes.

3.4. Procedimiento de Diseño de la Losa

El exceso de cargas puede provocar diversos tipos de fallas, por ejemplo, grietas por esfuerzos de flexión excesivos, deflexiones excesivas, asentamientos por exceso de presión al suelo, y para el caso de cargas altamente concentradas, las fallas o grietas pueden ser provocadas por esfuerzos de cortante excesivos.

La estrategia del diseño de pisos es mantener todos estos factores dentro de los límites de seguridad.

Sin embargo, el factor más crítico de éstos, es decir, la consideración que rige el diseño es diferente dependiendo del área de contacto de la carga como se muestra en la figura 4.10., por ejemplo, en casos normales los esfuerzos de flexión son la consideración de diseño crítica para montacargas, mientras que para cargas distribuidas cubriendo áreas muy grandes de almacenamiento, el esfuerzo por flexión debajo de la carga no es tan crítico como otras.

Momentos negativos (esfuerzos de tensión en la parte superior de la losa) lejos de la carga pueden causar grietas en los pasillos, o la carga puede ocasionar que las juntas fallen como resultado de asentamientos diferenciales. También, presiones excesivas en el suelo debido a cargas distribuidas pueden resultar en asentamientos inaceptables de algunos suelos.

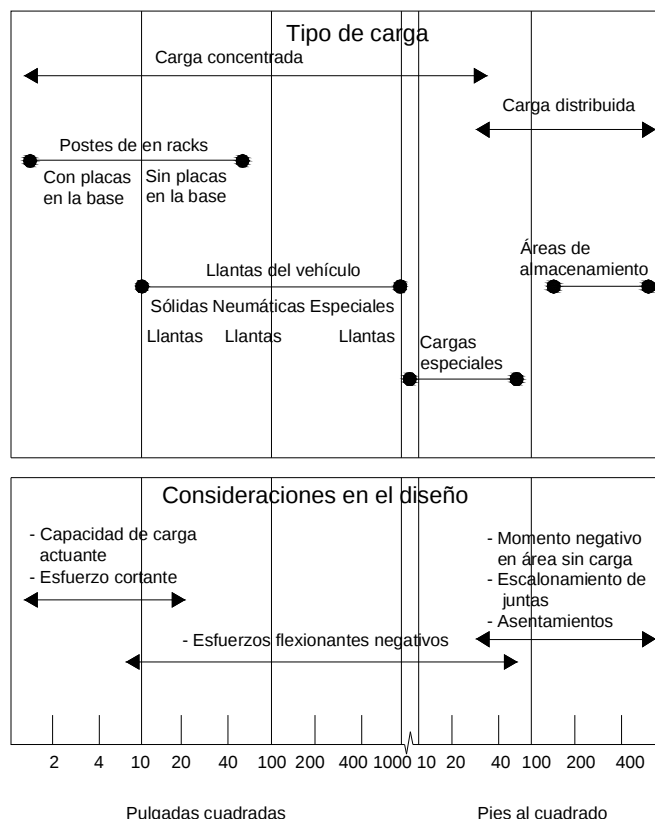


Figura 3.10. Consideraciones de diseño críticas en función del tamaño del área de contacto de la carga

El área de contacto es crítica para el caso de cargas fuertes en los postes de las estructuras de almacenamiento o racks. Si el plato o base de los postes es muy pequeño, la falla de la losa debido a la carga excesiva o esfuerzos cortantes es de mayor preocupación que otras cargas.

Cuando la base del plato es lo suficientemente grande para prevenir fallas de carga o corte, el esfuerzo por flexión se vuelve la consideración de diseño a controlar.

No está por demás mencionar que la figura 3.10, se presenta exclusivamente como una guía, ya que obviamente las fronteras entre las diferentes consideraciones de diseño a controlar no son exactas y varían de alguna manera dependiendo de muchos factores, incluyendo el espesor de la losa, resistencia del concreto y la capacidad de soporte de la base.

3.4.1. Métodos de Dimensionamiento

Los métodos actuales de dimensionamiento de pavimentos rígidos se inclinan hacia el concepto mecanístico- empírico, que comprende la aplicación de modelos estructurales para calcular las respuestas de los pavimentos, así como el desarrollo de modelos de deterioro para predecir el comportamiento del pavimento a partir de las respuestas estructurales. Los esquemas de predicción de comportamiento son posteriormente calibrados sobre la base de evaluaciones y observaciones del comportamiento de pavimentos en servicio.

Por lo que respecta a los modelos de deterioro y de predicción de comportamiento, principalmente en lo que se refiere a la fatiga y al fenómeno de bombeo, éstos se derivan de análisis de regresión, que frecuentemente presentan importantes dispersiones, siendo por lo tanto, necesaria la permanente calibración del método de diseño.

Los métodos de diseño han simplificado notablemente los procedimientos de aplicación y presentan al usuario tabla, nomogramas y elementos de cálculo relativamente sencillos, además de programas de computadora mediante los cuales se pueden efectuar rápidamente estudios de alternativas, lo cual permite obtener un panorama completo del problema que proporciona la información necesaria para la toma correcta de decisiones.

Los métodos de diseño de espesores más utilizados a nivel mundial para el dimensionamiento de pavimentos rígidos son los siguientes:

- Método de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- Método de la Portland Cement Association (PCA).

3.4.2. Proceso de Dimensionamiento

Se indicará el proceso de dimensionamiento de acuerdo a los métodos de diseño de espesores más utilizados a nivel mundial.

3.4.2.1. Según Método AASHTO

El procedimiento según el método AASHTO determina el espesor D de un pavimento de hormigón para que éste pueda soportar el paso de un numero W18 de ejes equivalentes de 18 kilolibras (8,2 t) sin que se produzca una disminución en el índice superior a un cierto valor Δ PSI.

Dicho índice de servicio PSI es un valor que se calcula a partir de una serie de medidas en el pavimento (regularidad superficial, agrietamiento, baches).

La fórmula que relaciona las tres variables anteriores es la siguiente:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_o + 7,35 \times \log_{10} (D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1} \right]}{1 + \frac{1,624 \times 1}{(D + 1)^8}} + (4,22 - 0,32 p_t) \times \log_{10} \left[\frac{S_c * C_d [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 * J \left[D^{0,75} - \frac{18,42}{(E_c / k)^{0,25}} \right]} \right]$$

Donde:

W_{18} = Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 t, a lo largo del periodo de proyecto.

Z_R = Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.

S_o = Desviación estándar que combina por una parte la desviación estándar media de los errores de predicción del tráfico durante el periodo de proyecto, y por otra la

desviación estándar de los errores en la predicción del comportamiento del pavimento (expresado en ejes de 8.2 t) al alcanzar un determinado índice de servicio terminal.

D = Espesor del pavimento de hormigón (en pulgadas).

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

P_t = Índice de servicio final.

S_c = Resistencia media del hormigón (en psi, libras por pulgada cuadrada) a flexotracción a los 28 días (método de carga en los tercios de luz).

C_d = Coeficiente de drenaje.

J = Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas.

E_c = Módulo de elasticidad del hormigón, en psi.

K = Módulo de reacción (en psi, libras por pulgada cúbica) de la superficie (base, sub-base o subrasante) en la que se apoya el pavimento de hormigón.

En lo que se refiere a dichas variables, puede hacerse sobre las mismas las siguientes consideraciones:

a) W_{18} (ejes simples equivalentes de 8.2 t) a lo largo del periodo de proyecto

El W_{18} es el número o la cantidad de ejes simples equivalentes de 8.2 t, que circulan por el tramo en estudio a lo largo del período de proyecto. Es obvio que no circularán sólo ejes de 8.2 t, entonces el método AASHTO requiere la transformación a ejes simples equivalentes al valor indicado anteriormente de los ejes de diferentes pesos que circularán sobre el pavimento a lo largo del periodo de proyecto.

$$W_{18} = TPD \times 365 \times (1 + i)^n$$

En lo que se refiere al periodo de proyecto, se indica que en general, éste debe ser superior a 20 años, a fin de poder evaluar mejor las distintas alternativas a largo plazo.

Según el tipo de carretera se sugieren periodos de proyecto indicados en la tabla 3.4 siguiente:

Periodos de Proyecto a Adoptar en Función del Tipo de Carretera	
Tipo de Carretera	Periodo de Proyecto (años)
Urbana de tráfico elevado	30 – 50
Interurbana de tráfico elevado	20 – 50
Pavimentada de baja intensidad de tráfico	15 – 25
De baja intensidad de tráfico pavimentada	10 – 20

Tabla 3.4. Periodos de proyecto a adoptar en función del tipo de carretera

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO-97, Oscar Cordo, 2000.

b) Desviación estándar S_o

La AASHTO recomienda adoptar para S_o valores comprendidos dentro de los siguientes intervalos:

- pavimentos rígidos: 0.3 - 0.4
- pavimentos flexibles: 0.4 - 0.5

Por otra parte, se sugiere los niveles de fiabilidad indicados en la tabla 3.5, de acuerdo con el tipo de carretera de que se trate.

Tipo de Carretera	Nivel de Fiabilidad	
	Urbana	Interurbana
Autopistas y carreteras importantes	85 – 99,9	80 – 99,9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Principales	50 – 80	50 – 80

Tabla 3.5. Niveles de fiabilidad a adoptar en función del tipo de carretera

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO-97, Oscar Cordo, 2000.

c) Índice de servicio final p_t y variación ΔPSI en el índice de servicio

La selección del índice de servicio final p_t debe basarse en el índice más bajo que pueda ser tolerado antes de que sea necesario efectuar una rehabilitación, un refuerzo o una reconstrucción. Se sugiere para el mismo un valor de 2.5 o incluso superior para las carreteras de mayor tráfico y de 2.0 para tráficos menos importantes.

En cuanto al índice de servicio inicial p_o , que a su vez interviene para determinar la variación $\Delta PSI = p_o - p_t$, éste depende de la calidad de la construcción.

d) Coeficiente de drenaje C_d

El valor del mismo depende de dos parámetros:

- La calidad del drenaje, que viene determinada por el tiempo que tarda el agua infiltrada en ser evacuada del pavimento.
- El porcentaje de tiempo a lo largo del año durante el cual el pavimento esta expuesto a niveles de humedad aproximándose a la saturación. Dicho porcentaje depende de la precipitación media anual, y de las condiciones de drenaje.

Se define cinco calidades de drenaje, de acuerdo con la tabla 3.6 siguiente:

Calidad del drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Mediano	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	(el agua no se evacua)

Tabla 3.6 Calidades de drenaje

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO-97, Oscar Cordo, 2000.

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo en el que el pavimento esta expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1 – 5 %	5 – 25 %	Mas del 25 %
Excelente	1,25 – 1,20	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10
Bueno	1,20 – 1,15	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00
Mediano	1,15 – 1,10	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90
Malo	1,10 – 1,00	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80
Muy malo	1,00 – 0,90	0,90 – 0,80	0,80 – 0,70	0,70

Tabla 3.7 Valores del coeficiente de drenaje

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO-97, Oscar Cordo, 2000.

e) Coeficiente de transmisión de cargas J

Este factor se introduce para tener en cuenta la capacidad del pavimento de hormigón para transmitir las cargas a través de la discontinuidad (juntas o grietas). Su valor depende de varios factores:

- El tipo de pavimento (en masa, armado con juntas, con armadura continua).
- La existencia o no de dispositivos de transmisión de cargas (pasadores en los pavimentos con juntas, armaduras en los armados continuos).

Arcén	Flexible		De hormigón	
Dispositivos de transmisión de cargas	Si	No	Si	No
En masa o armado con juntas	3,2	3,8 – 4,4	2,5 – 3,1	3,6 – 4,2
Armado continuo	2,9 – 3,2		2,3 – 2,9	

Tabla 3.8. Valores del coeficiente J de transmisión de cargas

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO-97, Oscar Cordo, 2000.

f) Módulo de reacción k de la superficie en la que se apoya el pavimento

El soporte que presta la superficie de apoyo al pavimento se expresa con el valor del módulo de reacción k, cuyos valores para el diseño de pavimentos están indicados en la tabla 3.10.

k	Tipo de suelo	Comportamiento
2.8 kg/cm ³	limo arcilla	satisfactorio
5.5 kg/cm ³	arenoso	Bueno
8.3 kg/cm ³	grava arenosa	Excelente

Tabla 3.9 Valores del módulo k

Fuente: Diseño de Pavimentos AASHTO-97, Oscar Cordo, 2000.

3.4.2.2. Según Método PCA

El método de diseño de la PCA considera dos criterios de evaluación en el procedimiento de diseño, el criterio de erosión de la subbase por debajo de las losas y la fatiga del pavimento de concreto.

El criterio de erosión reconoce que el pavimento puede fallar por un excesivo bombeo, erosión del terreno de soporte y diferencias de elevaciones en las juntas.

El criterio del esfuerzo de fatiga reconoce que el pavimento pueda fallar, presentando agrietamiento derivado de excesivas repeticiones de carga.

a) Cargas de Vehículos

El procedimiento de diseño del piso requiere que el tráfico sea estimado de forma correcta, incluyendo la siguiente información:

- Magnitudes de las cargas, que cuantifica la fuerza actuante sobre el piso.
- Frecuencias, número de veces que una magnitud de carga dada es aplicada al pavimento.
- Configuraciones de los ejes de los vehículos que circularían en el piso.

Los datos necesarios del vehículo con los que se deberán contar son:

- Peso del eje cargado
- Espaciamiento de llantas
- Ancho de la llanta
- Presión de inflado de llanta
- Tipo de llanta

Los datos de los pesos que actúan en el vehículo se pueden obtener de las hojas técnicas de los fabricantes del vehículo, mientras que las dimensiones del vehículo se obtienen a través de mediciones.

El cálculo del área de contacto de la carga se refiere al área de una llanta en contacto directo con la losa, sin importar el diseño o huella de la llanta. El área de contacto puede ser estimada, para el caso de llantas neumáticas:

$$\text{Área de contacto} = \frac{\text{Carga de la llanta}}{\text{Presión de inflado}}$$

Para el caso de llantas sólidas el área de contacto puede ser más o menos estimada multiplicando el ancho de la llanta en plg, por 3 ó 4.

$$\text{Área de contacto} = \text{Ancho de la llanta} \times (3 \text{ ó } 4 \text{ plg})$$

Los datos de subrasante y concreto que se deben conocer son:

- Módulo de reacción k de la subrasante.
- La resistencia a la flexión del concreto.

El módulo de reacción k de la subrasante, es el parámetro que comúnmente se usa como parámetro de diseño de pavimentos rígidos, pues refleja las condiciones de respuesta de la subrasante ante condiciones de deformación temporal al contrario del valor soporte de california o capacidad de carga que reflejan la condición de deformación total de la subrasante.

A través de ensayos de laboratorio realizados a muestras de suelo de la subrasante se determina el valor soporte de california (C.B.R.), expresado en porcentaje.

El módulo de reacción k de la subrasante, es la propiedad correcta del suelo a emplearse en el diseño de pisos sujetos a condiciones de carga de llantas, cargas concentradas y distribuidas, por tanto se efectúa una relación entre el módulo de reacción de la subrasante “k” y el valor soporte de California haciendo uso de la figura 3.1.

Se ingresa por la parte inferior de la figura 3.1, donde se localiza el punto correspondiente al valor soporte de california en porcentaje, después se desplaza en línea vertical hasta chocar con la curva, en ese punto se mueve hacia la izquierda en línea horizontal para encontrar el módulo de reacción de la subrasante k.

La resistencia a la flexión en función a la especificación para pavimentos rígidos de este tipo es de 44 Kg/cm², a los 28 días de edad.

- Factor de Seguridad

Un adecuado factor de seguridad puede ser seleccionado para determinar los esfuerzos de trabajos permisibles.

Para pisos, el factor de seguridad es la relación de la resistencia a flexión del concreto o módulo de ruptura entre el esfuerzo de trabajo a flexión, lo que puede entenderse como la capacidad total admisible que pueda ocurrir antes de la falla, con la resistencia utilizada.

$$FS = \frac{\text{Resistencia a la flexión del concreto}}{\text{Esfuerzo de trabajo a flexión del concreto}}$$

El inverso del factor de seguridad, es decir esfuerzo de trabajo dividido entre la resistencia a la flexión, se conoce como relación de esfuerzos y en estudios de fatiga, los valores de la relación de esfuerzos influyen en el número de repeticiones de carga permisibles.

$$\text{Relación de esfuerzos} = \frac{\text{Esfuerzo de trabajo a flexión del concreto}}{\text{Resistencia a la flexión del concreto}}$$

$$N^{\circ} \text{ de repeticiones} = N^{\circ} \text{ de veh.} \times \text{frecuencia por día} \times \text{días en los que actúa la carga por año} \times \text{vida útil}$$

Se determina el número de repeticiones del vehículo, se ingresa a la tabla 3.1, para obtener así el valor de relación de esfuerzos. En caso de que sea necesario se deberá interpolar entre los diferentes valores de relación de esfuerzos.

$$FS = \frac{1}{\text{Relación de esfuerzos}}$$

Las recomendaciones de la Asociación de Cemento Portland en materia de factores de seguridad es la siguiente:

Pisos o áreas con un gran número de repeticiones esperadas de vehículos, se recomienda diseñarlos con un factor de seguridad alto (de 2.0 ó superior).

En otras áreas en donde se espera menor tráfico de vehículos se puede emplear un factor de seguridad entre 1.7 y 2.0.

En áreas no críticas, como áreas de almacenamiento sin un constante tráfico de vehículos, el factor de seguridad podrá ser de 1.4 a 1.7.

a.1) Cargas de Vehículos de Eje Sencillo

- Esfuerzo de Trabajo del Concreto

El esfuerzo de trabajo del concreto es calculado por la división de la resistencia a flexión del concreto, entre el factor de seguridad y si es necesario entre el factor de junta.

$$WS = \frac{MR}{FS \times FJ}$$

El esfuerzo por cada 1000 lbs de carga en el eje, es calculado por la división de la resistencia a flexión del concreto, entre el factor de seguridad y si es necesario entre el factor de junta y después dividir este resultado entre la carga del eje.

$$WC = \frac{WS}{\text{carga en el eje, kips}}$$

Para determinar el espesor necesario de losa para carga de vehículos de ejes simples se hace uso de la figura 3.3, ingresa por la parte izquierda de la figura con un esfuerzo por cada 1000 lbs de carga en el eje, se mueve a la derecha para cortar la curva del área de contacto; desde ese punto se desplaza con línea vertical hasta cortar la curva de espaciamiento de llantas, desde ahí se mueve el punto horizontalmente a la derecha para leer el espesor de la losa para el módulo de reacción de la subrasante.

Determinado el espesor de losa se usa la figura 3.5, para determinar si el área efectiva de contacto es significativamente más grande que el área de contacto actual.

Se ingresa por la parte inferior de la figura 3.5, con el área de contacto actual, se mueve con línea vertical hasta cortar a la curva de espesor de losa, desde ese punto se desplaza con línea horizontal hacia la izquierda para leer el área efectiva de contacto.

Con el nuevo valor de área de contacto efectiva, el esfuerzo por cada 1000 lbs de carga en el eje, espaciamiento de llantas, módulo de reacción de la subrasante, se ingresa nuevamente a la figura 3.3 para determinar el valor final de espesor de losa para cargas de vehículos de eje sencillo.

a.2) Cargas de Vehículos de Eje Dual

- Esfuerzo de Trabajo del Concreto

El esfuerzo de trabajo del concreto es calculado por la división de la resistencia a flexión del concreto, entre el factor de seguridad y si es necesario entre el factor de junta.

$$WS = \frac{MR}{FS \times FJ}$$

Se usa la figura 3.4, para convertir la carga del eje dual a una carga equivalente de eje sencillo. Para el determinar el valor de factor de equivalencia de carga es necesario suponer un espesor de losa.

Se ingresa en la figura 3.4, por la parte izquierda con la separación dual de llantas; desde ese punto se desplaza con línea horizontal hasta cortar a la línea de área efectiva de contacto, a partir de ese punto con línea vertical cortar la línea de espesor inicial de losa; por último, desplazarse con línea horizontal hacia el extremo derecho de la gráfica hasta cortar el eje de factor de equivalencia de carga F.

$$Carga\ en\ el\ eje = Factor\ carga\ equivalente\ de\ eje\ sencillo \times Carga\ eje\ dual$$

El esfuerzo por cada 1000 lbs de carga en el eje, es calculado por la división de la resistencia a flexión del concreto, entre el factor de seguridad y si es necesario entre el factor de junta y después dividir este resultado entre la carga del eje.

$$WC = \frac{WS}{carga\ en\ el\ eje, kips}$$

Se ingresa por la parte izquierda de la figura 3.3, con un esfuerzo por cada 1000 lbs de carga en el eje, se mueve a la derecha hasta cortar la curva para el área de contacto, desde ese punto se desplaza en línea vertical hasta cortar la curva del espaciamiento de llantas, desde ahí se mueve el punto horizontalmente a la derecha para leer el espesor de la losa para el módulo de reacción de la subrasante.

El resultado de espesor diseñado tiene que ser comparado con el valor de espesor asumido, este proceso deberá ser repetido hasta que el espesor sumido y el espesor diseñado concuerden.

$$Espesor\ asumido = Espesor\ de\ diseño$$

b) Carga en Racks

En muchas naves industriales y bodegas son usados estantes o racks para el almacenamiento de productos o materiales, si las cargas en los racks son pesadas, los postes que soportan al estante, inducen esfuerzos importantes al piso.

Para las cargas en postes el objetivo del diseño es mantener el esfuerzo por flexión dentro de los límites de seguridad de la losa.

Los datos del peso que actúa en el rack se obtienen conociendo el número de productos que se disponen en el rack por el peso de cada producto, mientras que las dimensiones del rack se obtienen a través de mediciones.

Los datos necesarios con los que se deberán contar para la Configuración de Postes y Cargas son:

- Espaciamiento Longitudinal de postes.
- Espaciamiento Transversal de postes.
- Carga en Poste.
- Dimensionamiento de la base del poste.
- Área de contacto.

Los datos de subrasante y concreto que se deben conocer son:

- Módulo de reacción k de la subrasante.
- La resistencia a la flexión del concreto.

El módulo de reacción k de la subrasante, es el parámetro que comúnmente se usa como parámetro de diseño de pavimentos rígidos, pues refleja las condiciones de respuesta de la subrasante ante condiciones de deformación temporal al contrario del valor soporte de california o capacidad de carga que reflejan la condición de deformación total de la subrasante.

A través de ensayos de laboratorio realizados a muestras de suelo de la subrasante se determina el valor soporte de california (C.B.R.), expresado en porcentaje.

El módulo de reacción k de la subrasante, es la propiedad correcta del suelo a emplearse en el diseño de pisos sujetos a condiciones de carga de llantas, cargas concentradas y distribuidas; por tanto, se efectúa una relación entre el módulo de reacción de la subrasante “ k ” y el valor soporte de California haciendo uso de la figura 3.1.

Se ingresa por la parte inferior de la figura 3.1, donde se localiza el punto correspondiente al valor soporte de California en porcentaje, después se desplaza en línea vertical hasta chocar con la curva, en ese punto se mueve hacia la izquierda en línea horizontal para encontrar el módulo de reacción de la subrasante k .

La resistencia a la flexión en función a la especificación para pavimentos rígidos de este tipo es de 44 Kg/cm^2 , a los 28 días de edad.

- Factor de seguridad

Los factores de seguridad se dejan de juicio al diseñador ya que:

El rango de factor de seguridad posible puede ser bastante amplio, el factor puede ser relativamente bajo (1.5 ó menor) bajo condición de carga no crítica, o bastante alto aproximadamente 5, en condiciones de losa donde la falla de la losa sea bastante seria.

- Esfuerzos de trabajo en el concreto

El cálculo de esfuerzos de trabajo en el concreto, se hará dividiendo el módulo de ruptura del concreto entre el producto del factor de seguridad y el factor de junta.

$$WS = \frac{MR}{FS \times FJ}$$

El esfuerzo por cada 1000 lbs de carga en el poste es calculado por la división de la resistencia a flexión del concreto, entre el factor de seguridad y si es necesario entre el factor de junta y después dividir este resultado entre la carga por poste.

$$WC = \frac{WS}{\text{carga por poste, kips}}$$

Para determinar el espesor necesario de losa para carga de racks se hace uso de las figuras 3.6, ingresa por la parte izquierda de la figura con un esfuerzo por cada 1000 lbs de carga en el poste y área de contacto se desplaza hacia la derecha en línea recta hasta el espaciamiento longitudinal de postes, en ese punto se mueve en línea vertical hasta encontrar el espaciamiento transversal. De ese punto se desplaza hacia la derecha en línea recta horizontal para encontrar el espesor de diseño resultante.

Determinado el espesor de losa se usa la figura 3.5, para determinar si el área efectiva de contacto es significativamente más grande que el área de contacto actual.

Se ingresa por la parte inferior de la figura 3.5, con el área de contacto actual, se mueve con línea vertical hasta cortar a la curva de espesor de losa, desde ese punto se desplaza con línea horizontal hacia la izquierda para leer el área efectiva de contacto.

Con el nuevo valor de área de contacto efectiva, el esfuerzo por cada 1000 lbs de carga en el poste, espaciamiento de llantas, espaciamiento longitudinal de postes, espaciamiento transversal y módulo de reacción de la subrasante, se ingresa nuevamente a la figura 3.6, para determinar el valor final de espesor de losa para cargas de racks.

Los esfuerzos cortantes y los esfuerzos de carga actuante también deben ser calculados para determinar si los valores están dentro de los límites de seguridad.

La capacidad de carga permisible para carga interior es 4.2 veces el módulo de ruptura a los 28 días.

$$\text{Capacidad de carga permisible para carga interior} = 4.2 \times MR$$

La capacidad de carga permisible para cargas de borde o esquina es 2.1 veces el módulo de ruptura a los 28 días.

$$\text{Capacidad de carga permisible para carga de borde o esquina} = 2.1 \times MR$$

$$\text{Esfuerzo de carga actuante} = \frac{\text{Carga por poste}}{\text{Área de contacto}}$$

$$\text{Esfuerzo de carga actuante} < \text{Capacidad de carga permisible}$$

En el caso de los esfuerzos de cortante, el permisible será de 0.27 veces el módulo de ruptura del concreto.

$$\text{Esfuerzo cortante permisible} = 0.27 \times MR$$

Esfuerzo de carga actuante para cargas interiores:

$$= \frac{\text{Carga por poste}}{\text{espesor de la losa} \times [\text{perímetro} + (4 \times \text{espesor de losa})]}$$

Esfuerzo de carga actuante para cargas de borde:

$$= \frac{\text{Carga por poste}}{\text{espesor de la losa} \times [(0.75 \times \text{perímetro}) + (2 \times \text{espesor de losa})]}$$

Esfuerzo de carga actuante para cargas de esquina:

$$= \frac{\text{Carga por poste}}{\text{espesor de la losa} \times [(0.5 \times \text{perímetro}) + (\text{espesor de losa})]}$$

$$\text{Esfuerzo cortante actuante para cargas interiores} < \text{Esfuerzo cortante permisible}$$

$$\text{Esfuerzo cortante actuante para cargas de borde} < \text{Esfuerzo cortante permisible}$$

$$\text{Esfuerzo cortante actuante para cargas de esquina} < \text{Esfuerzo cortante permisible}$$

c) Carga Distribuida

Las cargas distribuidas son el resultado del material almacenado directamente en el piso que convencionalmente actúan sobre un área grande.

Las cargas concentradas son las que normalmente controlan el diseño del piso pues éstas producen esfuerzos a tensión mayores que las cargas distribuidas. Sin embargo, después que un espesor de losa ha sido seleccionado considerando el vehículo más pesado y las cargas por postes de racks, los efectos de las cargas distribuidas también deben ser examinados.

Los datos de la carga distribuida con los que se deben contar son:

- Peso de carga.
- Área sobre la que se aplica la carga.

Los datos de subrasante y concreto que se deben conocer son:

- Módulo de reacción k de la subrasante.
- La resistencia a la flexión del concreto.

El módulo de reacción k de la subrasante, es el parámetro que comúnmente se usa como parámetro de diseño de pavimentos rígidos, pues refleja las condiciones de respuesta de la subrasante ante condiciones de deformación temporal al contrario del valor soporte de California o capacidad de carga que reflejan la condición de deformación total de la subrasante.

A través de ensayos de laboratorio realizados a muestras de suelo de la subrasante se determina el valor soporte de california (C.B.R.), expresado en porcentaje.

El módulo de reacción k de la subrasante, es la propiedad correcta del suelo a emplearse en el diseño de pisos sujetos a condiciones de carga de llantas, cargas concentradas y distribuidas; por tanto, se efectúa una relación entre el módulo de reacción de la subrasante “ k ” y el valor soporte de California haciendo uso de la figura 3.1.

Se ingresa por la parte inferior de la figura 3.1, donde se localiza el punto correspondiente al valor soporte de califonia en porcentaje; después se desplaza en línea vertical hasta chocar con la curva, en ese punto se mueve hacia la izquierda en línea horizontal para encontrar el módulo de reacción de la subrasante k .

La resistencia a la flexión en función a la especificación para pavimentos rígidos de este tipo es de 44 Kg/cm^2 , a los 28 días de edad.

- Factor de seguridad

El factor de seguridad para este tipo de carga, considerado de acuerdo al método de diseño es de 2.0.

El cálculo de esfuerzos de trabajo en el concreto, se hará dividiendo el módulo de ruptura del concreto entre el producto del factor de seguridad y el factor de junta.

$$WS = \frac{MR}{FS \times FJ}$$

$$\text{Carga distribuida actuante} = \frac{\text{Peso total del tanque}}{\text{Área de aplicación de peso actuante}}$$

Conocido el espesor de losa, el esfuerzo de trabajo del concreto, el módulo de reacción k de la subrasante, el ancho de pasillo y considerando que el arreglo de las cargas no estén definidas; con dichos datos se ingresa a la tabla 3.2 para obtener la carga distribuida

máxima admisible, si el arreglo permaneciera fijo durante toda la vida útil de servicio del piso, las cargas distribuidas máximas admisibles se muestran en las tablas 3.3.

$$Carga\ distribuida\ actuante < Carga\ distribuida\ permisible$$

3.5. Valoración de los Resultados

Ambos métodos de diseño son apropiados para el diseño de espesores de pavimentos rígidos en cualquier tipo de proyecto; sin embargo, el método AASHTO hace intervenir un mayor número de variables que nos ayudarían a modelar de mejor manera las condiciones del proyecto al momento de estar diseñando su espesor.

Los resultados del método de la PCA son adecuados para cualquier tipo de proyecto a pesar de que no se puedan tomar en cuenta algunos factores importantes como lo son la serviciabilidad inicial y final. En cambio considera de una manera más real la contribución del tráfico en la formulación.

APLICACIÓN PRÁCTICA

4.1. Ubicación del Área de Estudio

- a) Características Generales del Departamento de Tarija
- Límites Territoriales: Tarija es uno de los nueve departamentos autónomos en los que se divide Bolivia, está situado en el sudeste del país. Limita al oeste con Potosí, al norte con Chuquisaca, al este con Paraguay y al sur con Argentina.

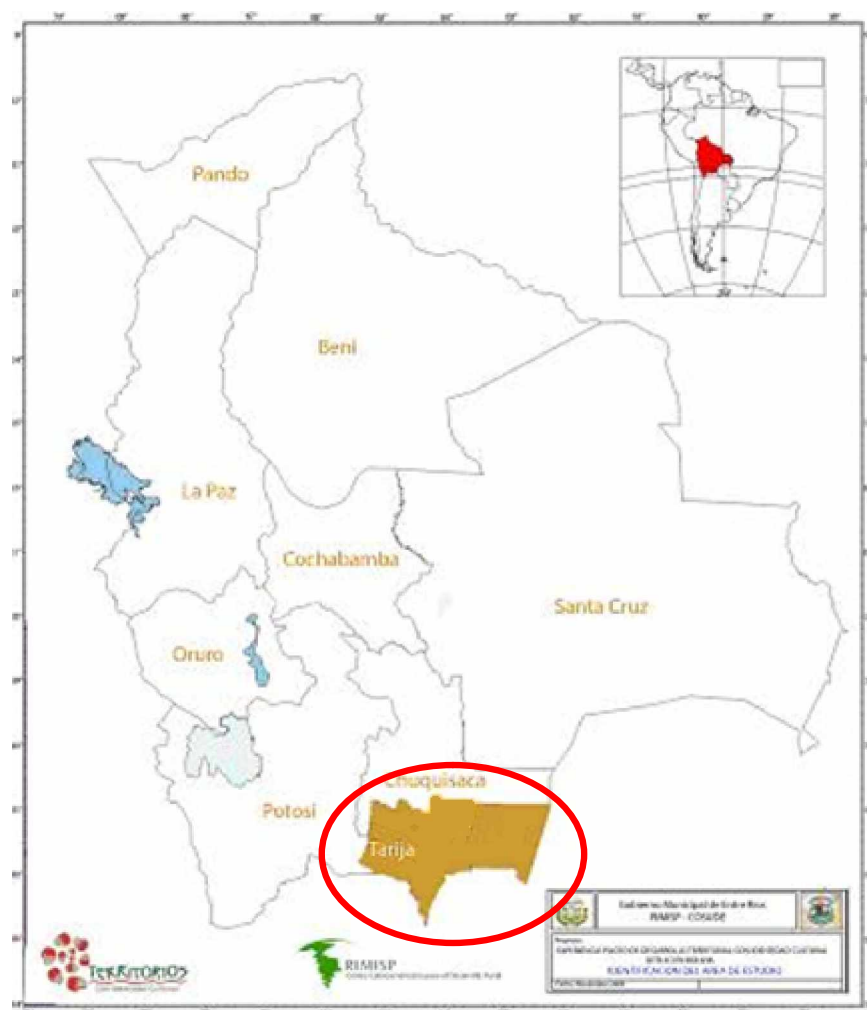


Figura 4.1. División política de la República de Bolivia

- Superficie: La superficie del departamento de Tarija, comprende una extensión territorial de 37.623 km², que aproximadamente representa el 3 % de la superficie del territorio nacional, es el departamento más pequeño de Bolivia.
- Datos Demográficos: El departamento de Tarija el año 2001 contaba con un total de 450.276 habitantes y cuya tasa de crecimiento fue de 3.18%.
- División Política: El departamento de Tarija está constituido por 6 provincias, 11 secciones municipales.

Provincia	Capital	km²	Población	Municipios
Aniceto Arce	Padcaya	5.205	56.413	Bermejo Padcaya
Burnet O'Connor	Entre Ríos	5.309	20.148	Entre Ríos
Cercado	Tarija	2.078	178.926	Tarija
Eustaquio Méndez	San Lorenzo	4.861	33.081	San Lorenzo El Puente Avilés Yunchará
Gran Chaco	Yacuiba	17.428	143.549	Caraparí Villamontes Yacuiba
José María Avilés	Uriondo	2.742	18.159	Valle de la Concepción

Tabla 4.1. División Política del departamento de Tarija

b) Características Físicas del Departamento de Tarija

- Temperatura: La temperatura promedio del departamento de Tarija oscila entre los 17 °C a 23 °C en el valle y 25°C a 35°C en la región tropical.
- Altitud: Tiene una altitud media sobre el nivel del mar de 1.957 m.

4.2. Características del Área de Influencia Indirecta

4.2.1. Zona de Estudio Municipio de Entre Ríos

La zona del proyecto de análisis del dimensionamiento y ejecución de pavimentos rígidos especiales para estacionamientos, se encuentra íntegramente en la primera sección del municipio de Entre Ríos de la provincia Burnet O' Connor del departamento de Tarija.

4.2.1.1. Características Generales del Municipio de Entre Ríos

- Límites Territoriales: El Municipio de Entre Ríos esta situado en la parte central del Departamento de Tarija. Limita al norte con el Departamento de Chuquisaca al Sur y al Este con la Provincia Gran Chaco, al Oeste con la Provincia Cercado, hacia el Noroeste con la Provincia Méndez y hacia el Suroeste con la Provincia Arce.



Figura 4.2. División política del departamento de Tarija.

Fuente: Atlas Bolivia.

- Ubicación Geográfica: Geográficamente el municipio de Entre Ríos se encuentra ubicado entre las coordenadas 20° 51' 57'' y 21° 56' 51'' de Latitud Sur y 63° 40' 23'' y 64° 25' 6'' de Longitud Oeste.
- Extensión Territorial: El municipio de Entre Ríos, posee una extensión territorial de 5.309 km² aproximadamente que representa el 14,2 % de la superficie departamental y el 0,49% del territorio Nacional. Entre Ríos se encuentra a 108 Km. de Tarija, la capital del departamento.

4.2.1.2. Características Físicas del Municipio de Entre Ríos

- Temperatura Media Anual: La temperatura media anual de Entre Ríos es de 18.5 °C.
- Precipitación Anual: Las precipitaciones anuales rondan los 1300 mm, concentrándose fundamentalmente en verano, de enero a marzo.
- Altitud: Se localiza a 1.230 metros sobre el nivel del mar.

4.2.2. Zona de Estudio Municipio de Tarija

La zona del proyecto de análisis del dimensionamiento y ejecución de pavimentos rígidos especiales para pisos industriales, se encuentra íntegramente en la primera sección del municipio de Tarija de la provincia Cercado del departamento de Tarija.

4.2.2.1. Características Generales del Municipio de Tarija

- Límites Territoriales: El Municipio de Tarija está ubicada en el centro-oeste del departamento de Tarija, es la única sección municipal de la provincia Cercado. Limita al noroeste con Méndez, al este con Burnet O'Connor, al sur con Arce y al suroeste con Avilés.



Figura 4.3. División política del departamento de Tarija.

Fuente: Atlas Bolivia.

- **Ubicación Geográfica:** Geográficamente el municipio de Tarija se encuentra ubicado entre las coordenadas 21° 31' 54" de Latitud Sur y 64° 43' 52" de Longitud Oeste.
- **Extensión Territorial:** El municipio de Tarija, posee una extensión territorial de 2.078 km², que representa el 5.6 % de la superficie del territorio departamental y el 0,20 % del territorio Nacional.
- **Actividad Económica:** La principal actividad económica del Municipio es la industria vitivinícola, se producen vinos y singanis de gran calidad para el consumo nacional y la exportación, tiene también plantas de procesamiento de derivados lácteos, industrias madereras, fábricas de cerámica roja y envasadoras de frutas. La mayoría de estos productos tienen mercados dentro y fuera de Bolivia.

4.2.2.2. Características Físicas del Municipio de Tarija

- Temperatura Media Anual: La temperatura media anual de Tarija es de 17.7 °C.
- Altitud: Se localiza a 1.854 metros sobre el nivel del mar.

4.3. Características del Área de Influencia Directa

4.3.1. Características de la Zona de Estudio Terminal de Buses Entre Ríos

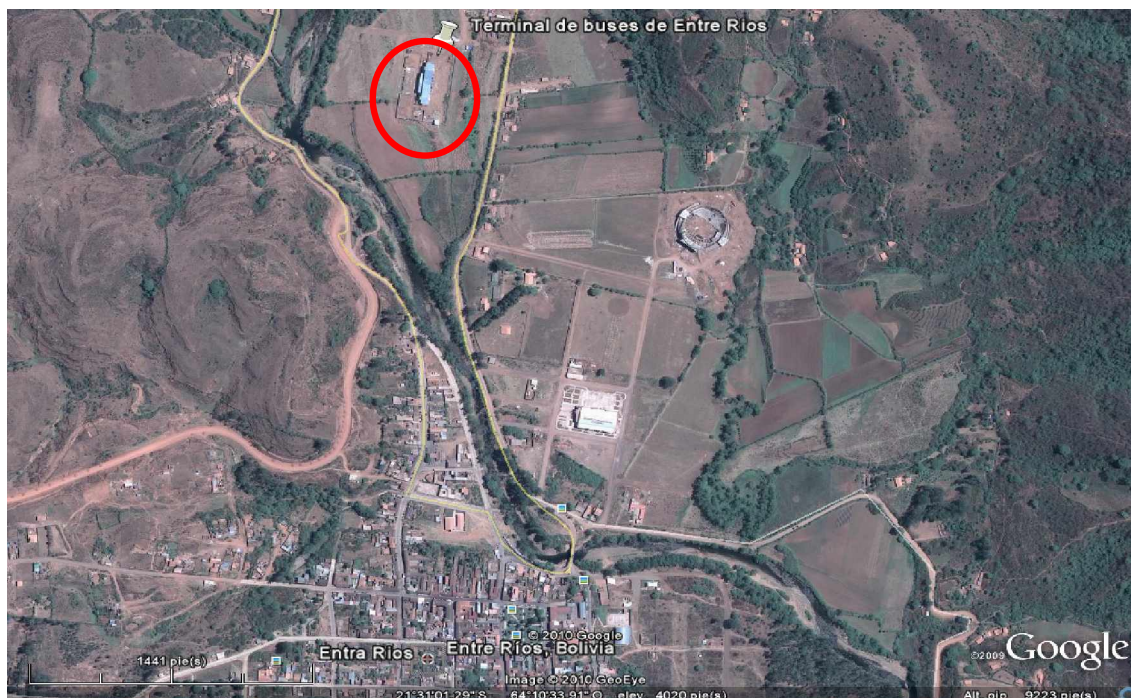


Figura 4.4. Ubicación de la Terminal de Buses

Fuente: Elaboración Propia.

La terminal de buses del Municipio de Entre Ríos se encuentra ubicada sobre la carretera Entre Ríos - Palos Blancos kilómetro 1.5, el área destinado al diseño de pavimento rígido para el estacionamiento es de 3.305,61 m².

Las características del suelo de la subrasante de la Terminal de Buses se obtuvieron mediante ensayos realizados en laboratorio y su posterior análisis de gabinete, las características obtenidas son las siguientes:

Resultados de Laboratorio “Terminal de Buses Entre Ríos”				
Ensayo		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Contenido de Humedad (%)		4.63	4.46	4.60
Límites de Atterberg	LL (%)	18	17	17
	LP (%)	NP	NP	NP
Clasificación de Suelos	S.U.C.S	SM (Arena Limosa)		
	A.A.S.T.H.O.	A-2-4		
Compactación	C.H.O. (%)	7	8	8
	D.max. (gr/cm ³)	1.97	2	1.95
CBR	100 %	10	11	8
	95 %	7	8	7

Tabla 4.2. Resultados de Laboratorio “Terminal de Buses Entre Ríos”

Fuente: Elaboración Propia.

Los ensayos de Laboratorio fueron adjuntados en Anexos y los valores de CBR obtenidos en laboratorio fueron corroborados de acuerdo a la siguiente tabla:

CBR	Clasificación General	Usos	Unificado	AASHTO
0-3	Muy pobre	Sub rasante	OH, CH, MH, OL	A-5, A-6, A-7
3-7	Muy pobre a regular	Sub rasante	OH, CH, MH, OL	A-4, A-5, A-6, A-7
7-20	Regular	Sub base	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A-2, A-4, A-6, A-7
20-50	Bueno	Sub base y Base	GM, GC, SW, SM, SP, GP	A-1-b, A-2-5, A-3, A-2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A-1-a, A-2-4, A-3

Tabla 4.3. Rangos de CBR según clasificación y uso

Fuente: Carreteras, Calles, Aeropuertos; Valle Rodas Raúl.

4.3.2. Zona de Estudio de Piso Industrial Bodegas y Viñedos La Cabaña



Figura 4.5. Ubicación de las Bodegas y Viñedos La Cabaña

Fuente: Elaboración Propia.

Las Bodegas y Viñedos La Cabaña se encuentra ubicada sobre la avenida Jorge Paz Galarza y avenida R. Justiniano, del Barrio San Jorge I, distante del centro de la ciudad de Tarija aproximadamente 4 km, el área total del piso industrial es de 409.73 m².

Las características del suelo de la subrasante de Las Bodegas y Viñedos La Cabaña se obtuvieron mediante ensayos realizados en laboratorio y su posterior análisis de gabinete, las características obtenidas son las siguientes:

Ensayo		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Contenido de Humedad		6.42	6.51	7.01
Límites de Atterberg (%)	LL (%)	27	26	28
	LP (%)	19	18	19
	IP (%)	8	8	9
Clasificación de Suelos	S.U.C.S	SC (Arena Arcillosa con Grava)		
	A.A.S.T.H.O.	A-2-4		
Compactación	C.H.O. (%)	12	12	12
	D.max. (gr/cm ³)	2.15	2.14	2.12
CBR	100 %	14	14	13
	95 %	10	10	9

Tabla 4.4. Resultados de Laboratorio “Bodegas y Viñedos La Cabaña”

Fuente: Elaboración Propia.

Los ensayos de Laboratorio fueron adjuntados en Anexos y el valor de CBR obtenido en laboratorio fue corroborado de acuerdo a la tabla 4.3.

4.4. Parámetros de Diseño

4.4.1. Consideración de Cargas en Estacionamientos

Las cargas que actúan en el estacionamiento de la Terminal de Buses de Entre Ríos son las generadas por la presencia de vehículos de transporte, los cuales utilizan la terminal de Entre Ríos como destino inicial, de paso o final.

4.4.1.1. Cargas de Vehículos

El diseño del piso requiere que el tráfico sea estimado de forma correcta, incluyendo la siguiente información: Magnitud y Frecuencia de las cargas.

Las magnitudes de las cargas, cuantifica la fuerza actuante sobre el piso del

estacionamiento, las diferentes magnitudes y configuraciones de los ejes de vehículos que solicitan al pavimento rígido del estacionamiento de la Terminal de Buses de Entre Ríos son:

Cargas Vehiculares Flota Tipo 1		
Marca	Volvo	
N° de asientos	55	
Peso Propio del vehículo	11.500	kg
Capacidad de Carga del vehículo	6.000	kg
Eje	☐ Rueda Sencilla	☒ Rueda Dual
Espacio de Ruedas S	205	cm
Espacio de Ruedas S_d	35	cm
Longitud	625	cm
Rueda	☐ Sólidas	☒ Neumáticas
Ancho de Rueda	37	cm
Presión de inflado llanta delantera	100	psi
Presión de inflado llanta trasera	120	psi

Tabla 4.5. Carga vehicular, flota tipo 1

Fuente: Elaboración Propia.

Cargas Vehiculares Flota Tipo 2		
Marca	Volvo	
N° de asientos	40	
Peso Propio del vehículo	11.280	kg
Capacidad de Carga del vehículo	4.500	kg
Eje	☐ Rueda Sencilla	☒ Rueda Dual
Espacio de Ruedas S	150	cm
Espacio de Ruedas S_d	35	cm
Longitud	600	cm
Rueda	☐ Sólidas	☒ Neumáticas
Ancho de Rueda	24	cm
Presión de inflado llanta delantera	100	psi
Presión de inflado llanta trasera	120	psi

Tabla 4.6. Carga vehicular, flota tipo 2

Fuente: Elaboración Propia.

Cargas Vehiculares Flota Tipo 3		
Marca	Nissan Cóndor	
N° de asientos	31	
Peso Propio del vehículo	5.000	kg
Capacidad de Carga del vehículo	2.790	kg
Eje	☐ Rueda Sencilla	☒ Rueda Dual
Espacio de Ruedas S	140	cm
Espacio de Ruedas S_d	30	cm
Longitud	420	cm
Rueda	☐ Sólidas	☒ Neumáticas
Ancho de Rueda	20	cm
Presión de inflado llanta delantera	70	psi
Presión de inflado llanta trasera	75	psi

Tabla 4.7. Carga vehicular, flota tipo 3

Fuente: Elaboración Propia.

Cargas Vehiculares Flota Tipo 4		
Marca	Nissan Cóndor	
N° de asientos	27	
Peso Propio del vehículo	4.500	kg
Capacidad de Carga del vehículo	2.430	kg
Eje	☐ Rueda Sencilla	☒ Rueda Dual
Espacio de Ruedas S	135	cm
Espacio de Ruedas S_d	25	cm
Longitud	385	cm
Rueda	☐ Sólidas	☒ Neumáticas
Ancho de Rueda	18	cm
Presión de inflado llanta delantera	50	psi
Presión de inflado llanta trasera	60	psi

Tabla 4.8. Carga vehicular, flota tipo 4

Fuente: Elaboración Propia.

Las frecuencias se refiere al número de veces que una magnitud de carga dada es aplicada al concreto; a través del siguiente análisis se determina el número de vehículos que realizarán el uso de las instalaciones de la Terminal de Buses de Entre Ríos, a través de dicho análisis se determina la frecuencia de los vehículos.

Empresa de Transporte	Viaje Diurno							Viaje Medio Día							Viaje Nocturno						
	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D
Destino Villamontes																					
Expreso Tarija	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	1	-	1
Sama	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	1	-	1
Expreso del Sur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	1	-
Narváez	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	1	-
Destino Entre Ríos																					
Enterrriana	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-
Guadalupana	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-
Gran Chaco	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1	-	-	1
Destino Santa Cruz																					
Expreso Tarija	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	2	1	2	1	2
Sama	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	1	2	1	2	1
Expreso del Sur	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	2	1	2	1	2
San Lorenzo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	2	1	2	1	2	1
San Roque	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	2	1	2	1	2

Tabla 4.9. N° de vehículos que utilizarán las instalaciones del estacionamiento

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.2. Consideración de Cargas en Pisos Industriales

Las cargas que actúan en el piso industrial de las bodegas y viñedos La Cabaña, son las generadas por las cargas de vehículos y cargas distribuidas.

4.4.2.1. Cargas de Vehículos

De la misma manera que en estacionamientos, el diseño del piso industrial requiere que el tráfico sea estimado de forma correcta, la magnitud de la carga y configuración del eje vehicular que se presenta en la losa del piso industrial se muestra a continuación:

Cargas Vehiculares Montacargas		
Marca	Caterpillar	
No. Modelo	DP 40	
No. de Montacargas	1	
Altura de Elevación	4.00	m
Longitud de Montacargas	1.35	m
Longitud de Brazos	1.60	m
Longitud de Aplicación de carga	1.45	m
Capacidad de Carga del vehículo	4.000	kg
Peso propio de Montacargas	500	kg
Contrapeso	4.000	kg
Eje	☒ Rueda Sencilla	☐ Rueda Dual
Espacio de Ruedas S	100	cm
Rueda	☒ Sólidas	☐ Neumáticas
Ancho de Rueda	18	cm

Tabla 4.10. Carga vehicular, montacargas

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.2.2. Cargas Distribuidas

Las cargas distribuidas son las que convencionalmente actúan sobre un área grande del piso, este tipo de cargas son el resultado de la acción de los tanques de fermentación y descube directamente en el piso industrial, la magnitud de la carga distribuida que se presenta en el piso industrial se muestra a continuación:

Cargas Distribuidas Tanque 1		
Tipo de Tanque	Fermentación	
No. de Tanques	5	
Altura de Tanque	4.00	m
Sección de la base del Tanque	Circular	
Diámetro de Tanque	2.99	m
Peso de Tanque	3.500	kg
Volumen de Tanque	27.000	L
Carga aplicada al Tanque	24.000	kg

Tabla 4.11. Carga distribuida, tanque 1

Fuente: Elaboración Propia.

Cargas Distribuidas		
Tanque 2		
Tipo de Tanque	Fermentación y Descube	
No. de Tanques	8	
Altura de Tanque	4.50	m
Sección de la base de Tanque	Circular	
Diámetro de Tanque	2.99	m
Peso de Tanque	4.000	kg
Volumen de Total de Tanque	31.000	L
Volumen de Tanque de Fermentación	19.000	L
Volumen de Tanque de Descube	12.000	L
Carga aplicada al Tanque	16.000	kg

Tabla 4.12. Carga distribuida, tanque 1

Fuente: Elaboración Propia.

4.4.3. Consideración de Otros Parámetros

- Factores de Seguridad

Los factores de seguridad apropiados para cargas estáticas, ya sean concentradas o distribuidas, no están bien establecidos por falta de experiencia o investigación. El proyectista debe tomar las precauciones para ciertas consideraciones de diseño y requerimientos especiales de desempeño y determinar las características de la losa bajo condiciones similares de carga.

Los factores de seguridad para cargas dinámicas dependen de la frecuencia de tráfico del vehículo; la recomendación de la Asociación de Cemento Portland para cargas dinámicas es la siguiente:

Pisos o áreas con gran número de repeticiones esperadas de vehículos, se recomienda diseñarlos con un factor de seguridad alto (de 2.0 ó superior).

En otras áreas donde se espere menor tráfico de vehículos se puede emplear un factor de seguridad entre 1.7 y 2.0.

En áreas no críticas, como áreas de almacenamiento sin un constante tráfico de vehículos el factor de seguridad podrá ser de 1.4 a 1.7.

- Factor de Junta

Para el diseño basado en cargas en el interior de la losa el factor de junta a emplear será 1.0, sin embargo para cargas frecuentes cruzando juntas sin sistema de transferencia de carga, el factor de junta recomendado será de 1.6, este valor es usado porque el espaciamiento de las juntas en el piso es relativamente grande.

4.5. Procedimiento de Dimensionamiento

El método de dimensionamiento de la PCA para losas de concreto sobre el terreno está bien establecido y aceptado a nivel mundial, este procedimiento es aplicable para losas a la intemperie o en el interior.

4.5.1. Según Método PCA

La metodología de la PCA para diseño de pavimentos rígidos está basada casi en su totalidad en conceptos de mecánica de materiales más que empíricos, pues se ha basado en extensos estudios y muchas prácticas de laboratorio, requiere de una información muy completa a nivel de cargas vehiculares, concentradas y distribuidas, donde las características y disposición de dichas cargas son esenciales dentro del diseño de pavimentos, siendo evidente la necesidad de analizar la información de cargas existentes con el fin de generar estructuras futuras capaces de resistir los esfuerzos y deformaciones, pues un pavimento rígido que esté constantemente solicitado por cargas diferentes y superiores a las consideradas en el diseño puede llegar a su periodo final antes del tiempo esperado.

El método presenta limitación pues permite al diseñador decidir si la estructura de pavimento necesita o no el uso de pasadores en las juntas, siendo esto favorable pues ofrece la ventaja económica y de facilidad de construcción, pero de desventaja ya que su uso va a depender del criterio y experiencia del diseñador.

4.5.2. Procedimiento de Dimensionamiento Según Tipología

El método considera dos criterios de evaluación en el procedimiento de diseño, el criterio de erosión de la subbase por debajo de las losas que puede fallar por un excesivo bombeo, erosión del terreno de soporte y diferencias de elevaciones en las juntas y el criterio de la fatiga del pavimento de concreto que puede fallar, presentando agrietamiento derivado de excesivas repeticiones de carga.

Sin embargo, a pesar de dicho procedimiento establecido, la tipología específica de cada pavimento rígido a diseñar, establece ciertas particularidades para cada caso; en el presente estudio, se realiza el análisis de los siguientes aspectos:

- Geometría de Losas
- Espesor de Losa
- Juntas
- Hormigón para la Losa

4.5.2.1. Geometría de Losas

Todos los pavimentos de concreto requieren del diseño adecuado de juntas, el cual parte del chequeo de las dimensiones para evitar fisuración y agrietamiento debido al fenómeno de contracción volumétrica y alabeo producido por los cambios de temperatura.

La fisuración del concreto puede aparecer a edades tempranas, durante el periodo de fraguado inicial, en el cual el concreto vive un cambio de estado plástico a estado sólido. La formación de pequeños cristales debido a la hidratación del cemento le dan una apariencia

rígida pero aún con baja resistencia a la tensión.

Una mezcla de concreto, debido a las corrientes del viento, altas temperaturas o a la baja humedad del ambiente produce tensiones en la capa superficial muy superiores a las fuerzas que están uniendo los cristales. Se generan así, fisuras que pueden ser tan críticas como las mismas condiciones climáticas que las provocaron.

En conclusión, la fisuración aparece cuando se restringe el libre movimiento volumétrico de la masa de concreto.

El espaciamiento entre las juntas puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$\Delta L = C \times L \times (\alpha_t \times \Delta T + \epsilon)$$

Donde:

ΔL = Apertura de la junta. Normalmente entre 1.3 y 6.4 mm.

C = Factor de ajuste debido a la fricción base – losa

0.8 para base granular

0.65 para base estabilizada

L = Espaciamiento entre juntas o longitud de la losa en mm.

α_t = Coeficiente de expansión térmica del concreto

Normalmente entre 9 y $10.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

ΔT = Rango de temperatura determinado como:

Temperatura media anual del sitio menos la más baja temperatura media mensual

ϵ = Coeficiente de contracción por secado del concreto, Normalmente entre 0.5 y 2.5×10^{-4}

En el proceso de endurecimiento el concreto presenta disminución volumétrica por pérdida de humedad debido a la evaporación natural y al aumento de la temperatura interna de la masa de concreto ocasionada por las reacciones químicas que dan paso a la etapa de fraguado inicial. Es en esta etapa cuando el concreto es joven y de baja resistencia a la tensión es sometido al rozamiento restrictivo que le impone la superficie de apoyo.

Se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\sigma_o = \frac{L \times f \times \gamma}{2}$$

Donde:

L = Longitud de la losa, en m.

f = Coeficiente de fricción entre la losa y la superficie de apoyo.

0.8 para base granular

0.65 para base estabilizada

γ = Densidad del concreto, en ton/m³.

σ_o = Esfuerzo de tensión generado en el concreto, debe ser menor del 8% del módulo de rotura, en kg/cm².

Para nuestro estudio se tiene para ambos casos lo siguiente:

a) Geometría de las losas para Estacionamiento de la Terminal de Entre Ríos

- El cálculo del espaciamiento entre las juntas puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$\Delta L = C \times L \times (\alpha_t \times \Delta T + \epsilon)$$

Utilizamos:

α_t = $10.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ Alta expansión térmica del concreto, común en concreto fabricados con cemento que presenta alto calor de hidratación en su proceso de fraguado inicial y final o fabricados con cemento a alta temperatura.

C = 0.80 Coeficiente de rozamiento para base granular.

$\Delta T = (18.5^{\circ}\text{C} - 12.6^{\circ}\text{C}) = 5.9^{\circ}\text{C}$

Para Municipio de Entre Ríos: Temperatura media anual 18.5°C

Menor temperatura promedio mensual 12.6 °C

Temperatura del Municipio de Entre Ríos se adjuntaron en Anexos.

$\epsilon = 2.5 \times 10^{-4}$ Alta contracción por secado del concreto.

Reemplazando los datos tenemos la separación máxima entre juntas:

$$L = \frac{\Delta L}{C \times (\alpha_t \times \Delta T + \epsilon)}$$

$$L = \frac{5 \text{ mm}}{0.8 \times \left(\frac{10.8 \times 10^{-6}}{^{\circ}\text{C}} \times (18.5 ^{\circ}\text{C} - 12.6 ^{\circ}\text{C}) + 2.5 \times 10^{-4} \right)}$$

$$L = 19922.22 \text{ mm}$$

$$L = 19.92 \text{ m}$$

- El cálculo de la longitud de losa para evitar fallas por tracción puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$\sigma_o = \frac{L \times f \times \gamma}{2}$$

Utilizamos:

Módulo de ruptura 44 kg/cm²

f = 0.8 base granular

$\gamma = 2.2 \text{ ton/m}^3$

$$L = \frac{\sigma_o \times 2}{f \times \gamma}$$

$$L = \frac{0.08 \times 44 \frac{kg}{cm^2} \times 2}{0.8 \times 2.2 \frac{ton}{m^3}}$$

$$L = 4.00 \text{ m}$$

La longitud de losa para evitar fallas por tracciones de 4.0 m.

Con el fin de evitar fisuras ocasionadas por los dos fenómenos descritos en los párrafos anteriores, se recomienda que la longitud de las losas (L), debe ser menor o igual a 25 veces el espesor de la losa (h) y que la relación L/b no supere el valor de 1.40.

Por tanto si $h = 18 \text{ cm}$

$$L \leq 25 \times h$$

$$4 \text{ m} \leq 25 \times 0.18 \text{ m}$$

$$4 \text{ m} \leq 4.5 \text{ m}$$

Entonces el valor de b será:

$$\frac{L}{b} = 1.40$$

$$b = \frac{4 \text{ m}}{1.40}$$

$$b = 2.86 \text{ m}$$

Se adoptará una longitud transversal de 3 m, debido al proceso constructivo.

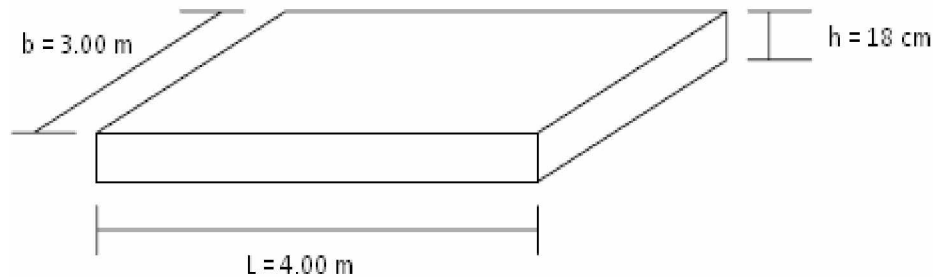


Figura 4.6. Esquema gráfico de las dimensiones de losa para estacionamiento de Terminal de Buses Entre Ríos.

b) Geometría de las losas para Piso Industrial de Bodegas y Viñedos La Cabaña (Kohlberg)

- El cálculo del espaciamiento entre las juntas puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$\Delta L = C \times L \times (\alpha_t \times \Delta T + \epsilon)$$

Utilizamos:

$\alpha_t = 10.8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ Alta expansión térmica del concreto, común en concreto fabricados con cemento que presenta alto calor de hidratación en su proceso de fraguado inicial y final o fabricados con cemento a alta temperatura.

$C = 0.80$ Coeficiente de rozamiento para base granular.

$\Delta T = (17.7^{\circ}\text{C} - 12.1^{\circ}\text{C}) = 5.6^{\circ}\text{C}$

Para Municipio de Tarija: Temperatura media anual 17.7°C

Menor temperatura promedio mensual 12.1°C

Temperatura del Municipio de Tarija se adjuntaron en Anexos.

$\epsilon = 2.5 \times 10^{-4}$ Alta contracción por secado del concreto.

Reemplazando los datos tenemos la separación máxima entre juntas:

$$L = \frac{\Delta L}{C \times (\alpha_t \times \Delta T + \epsilon)}$$

$$L = \frac{5 \text{ mm}}{0.8 \times \left(\frac{10.8 \times 10^{-6}}{^{\circ}\text{C}} \times (17.7^{\circ}\text{C} - 12.1^{\circ}\text{C}) + 2.5 \times 10^{-4} \right)}$$

$$L = 20130.12 \text{ mm}$$

$$L = 20.13 \text{ m}$$

- El cálculo de la longitud de losa para evitar fallas por tracción puede ser calculado con la siguiente expresión:

$$\sigma_0 = \frac{L \times f \times \gamma}{2}$$

Utilizamos:

Módulo de ruptura 44 kg/cm^2

$f = 0.8$ base granular

$\gamma = 2.2 \text{ ton/m}^3$

$$L = \frac{\sigma_0 \times 2}{f \times \gamma}$$

$$L = \frac{0.08 \times 44 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 2}{0.8 \times 2.2 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}}$$

$$L = 4.00 \text{ m}$$

La longitud de losa para evitar fallas por tracción es de 4.0 m.

Con el fin de evitar fisuras ocasionadas por los dos fenómenos descritos en los párrafos anteriores, se recomienda que la longitud de las losas (L), debe ser menor o igual a 25 veces el espesor de la losa (h) y que la relación L/b no supere el valor de 1.40.

Por tanto si $h = 19 \text{ cm}$

$$L \leq 25 \times h$$

$$4 \text{ m} \leq 25 \times 0.19 \text{ m}$$

$$4 \text{ m} \leq 4.75 \text{ m}$$

Entonces el valor de b será:

$$\frac{L}{b} = 1.40$$

$$b = \frac{4 \text{ m}}{1.40}$$

$$b = 2.86 \text{ m}$$

Se adoptará una longitud transversal de 3 m, debido al proceso constructivo.

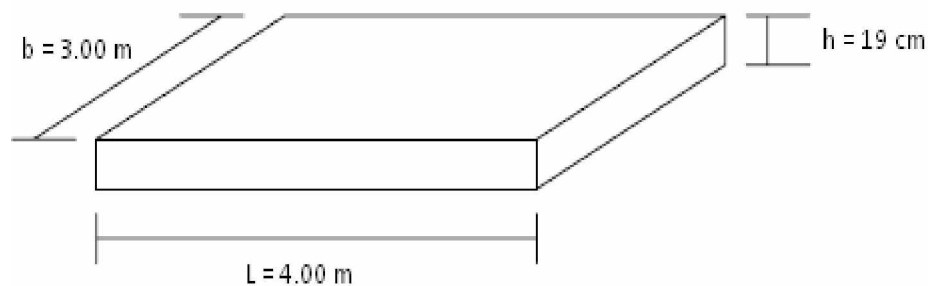


Figura 4.7. Esquema Gráfico de las dimensiones de losa para piso industrial de Bodegas y Viñedos La Cabaña.

4.5.2.2. Espesor de Losa

El espesor de la losa debe ser capaz de resistir los esfuerzos y deformaciones producidos por la acción de cargas, además que a mayor espesor se reduce el número de fisuras longitudinales y transversales.

Para nuestro estudio se tiene para ambos casos lo siguiente:

- a) Espesor de las losas para Estacionamiento de la Terminal de Entre Ríos.
- Diseño de Espesor de Losa para Flota Eje Dual con Capacidad de Carga Máxima

El dimensionamiento que se efectuará al estacionamiento de la terminal de Entre Ríos, se realizará considerando el vehículo de transporte de mayor peso, ya que este tipo de vehículo es el que con mayor frecuencia circulará por el estacionamiento.

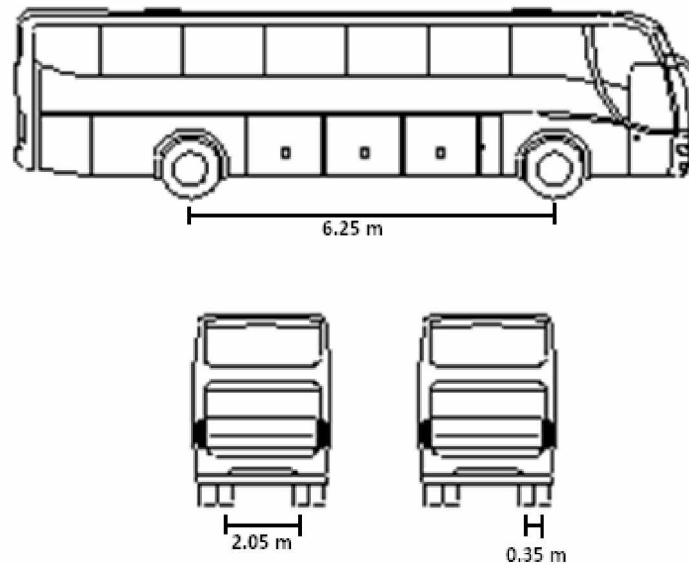
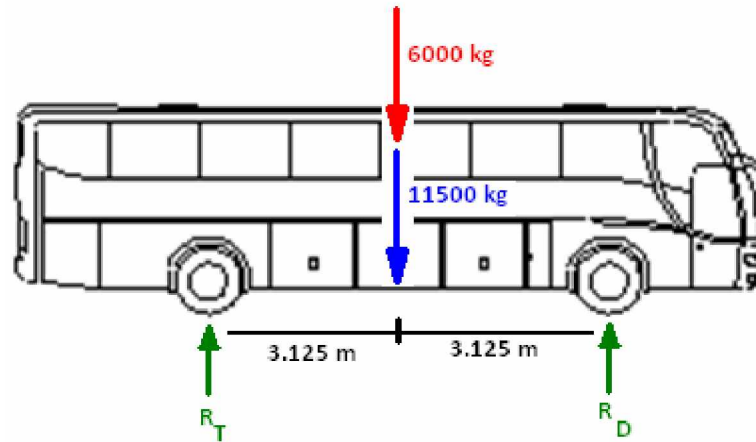


Figura 4.8. Configuración de Flota

Fuente: Elaboración Propia.

Los pesos que actúan en la flota se obtuvieron de las hojas técnicas de los fabricantes del vehículo, mientras que las dimensiones del vehículo se obtuvieron a través de mediciones.



Conociendo el peso propio y peso por capacidad de carga, se procede al cálculo de reacciones para eje delantero y trasero:

$$\sum M_T = 0$$

$$11500 \text{ kg} \times 3.125 \text{ m} + 6000 \text{ kg} \times 3.125 \text{ m} - R_D \times 6.25 \text{ m} = 0$$

$$R_D = 8750 \text{ kg}$$

$$\sum M_D = 0$$

$$R_T \times 6.25 \text{ m} - 11500 \text{ kg} \times 3.125 \text{ m} - 6000 \text{ kg} \times 3.125 \text{ m} = 0$$

$$R_T = 8750 \text{ kg}$$

Siendo:

R_T = Carga por eje trasero

R_D = Carga por eje delantero

El diseño para capacidad de carga máxima de la flota se realizará tomando en cuenta el peso por eje más solicitado, por lo tanto el diseño se realizará para una carga por eje de 8750 kg.

Datos de la flota

Eje cargado: 8.750 kg (19,29 kips)

Separación dual de llantas: 35 cm (13,78 plg)

Separación de llantas: 205 cm (80,71 plg)

Número de llantas por eje: 4

Presión de inflado de llantas: 120 psi

$$\text{Área de contacto} = \frac{\text{Carga por llanta}}{\text{presión de inflado}}$$

$$\text{Área de contacto} = \frac{\frac{19290 \text{ lb}}{4}}{120 \text{ psi}}$$

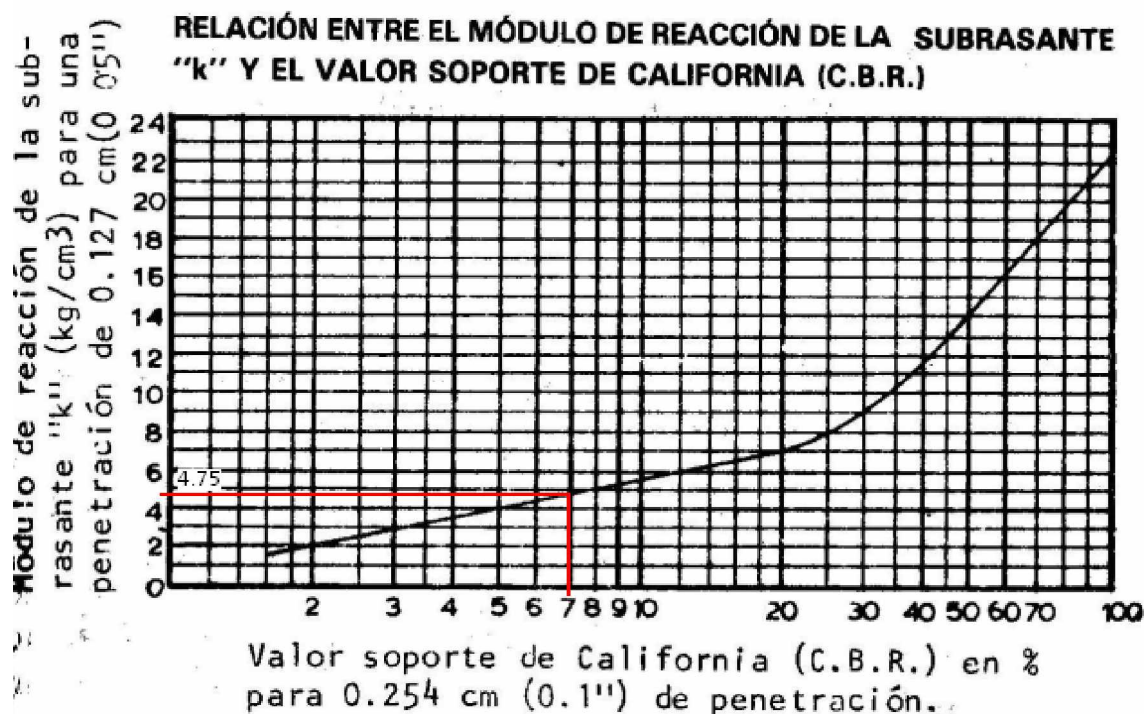
$$\text{Área de contacto} = 40.19 \text{ plg}^2$$

Datos de subrasante y concreto

A través de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelo de la subrasante se determinó que el valor soporte de california (C.B.R.) con el que se diseñará es del 7 %.

El módulo de reacción k de la subrasante, es el parámetro que comúnmente se usa como parámetro de diseño de pavimentos rígidos, pues refleja las condiciones de respuesta de la subrasante ante condiciones de deformación temporal al contrario del valor soporte de california o capacidad de carga que reflejan la condición de deformación total de la subrasante.

El módulo de reacción k de la subrasante, es la propiedad correcta del suelo a emplearse en el diseño de pisos sujetos a condiciones de carga de llantas, cargas concentradas y distribuidas; por tanto, se efectuará una relación entre el módulo de reacción de la subrasante " k " y el valor soporte de California haciendo uso de la figura 3.1.



Ingresamos por la parte inferior de la figura donde se localiza el punto correspondiente al valor soporte de California de 7 %, después se desplaza en línea vertical hasta chocar con la curva; en ese punto se mueve hacia la izquierda en línea horizontal para encontrar el módulo de reacción de la subrasante " k " resultante de 4,75 kg/cm³.

La resistencia a la flexión en función a la especificación para pavimentos de este tipo se adopta un valor a los 28 días de 42 Kg/cm².

Módulo de reacción k de la subrasante: 4,75 kg/cm³ (171,60 pci)

Resistencia a la flexión del concreto: 44 Kg/cm² (625,86 psi)

- Factor de Seguridad

De acuerdo a la información actual sobre el número de buses que tienen como Terminal inicial, final o de paso, se establece que 10 buses grandes y 3 medianos serán los que circularán por el estacionamiento con una frecuencia media de dos veces por día, obteniéndose el número de repeticiones siguiente:

$$N^{\circ} \text{ de repeticiones} = N^{\circ} \text{ de veh.} \times \text{frecuencia por día} \times \text{días en los que actúa la carga por año} \times \text{vida útil}$$

$$N^{\circ} \text{ de repeticiones} = 13 \times \frac{2}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 30 \text{ años}$$

$$N^{\circ} \text{ de repeticiones} = 284700$$

El factor de seguridad, se determina a partir del número de repeticiones del vehículo, para esto se ingresa a la tabla 3.1, para obtener así el valor de relación de esfuerzos. En caso de que sea necesario se deberá interpolar entre los diferentes valores de relación de esfuerzos.

Relación de esfuerzos	Repeticiones de Cargas Permisibles	Relación de esfuerzos	Repeticiones de Cargas Permisibles
<0.45	Ilimitadas	0.73	832
0.45	62,790,761	0.74	630
0.46	14,335,236	0.75	477
0.47	5,202,474	0.76	361
0.48	2,402,754	0.77	274
0.49	1,286,914	0.78	207
0.50	762,043	0.79	157
0.51	485,184	0.80	119
0.52	326,334	0.81	90
0.53	229,127	0.82	68

0.54	166,533	0.83	52
0.55	124,523	0.84	39
0.56	94,065	0.85	30
0.57	71,229	0.86	22
0.58	53,937	0.87	17
0.59	40,842	0.88	13
0.60	30,927	0.89	10
0.61	23,419	0.90	7
0.62	17,733	0.91	6
0.63	13,428	0.92	4
0.64	10,168	0.93	3
0.65	7,700	0.94	2
0.66	5,830	0.95	2
0.67	4,415	0.96	1
0.68	3,343	0.97	1
0.69	2,532	0.98	1
0.70	1,917	0.99	1
0.71	1,452	1.00	0
0.72	1,099	>1.00	0

Relación de esfuerzos → N° de repeticiones

0.52 → 326334

x → 284700

0.53 → 229127

Relación de esfuerzos x = 0.524

$$FS = \frac{1}{\text{Relación de esfuerzos}}$$

$$FS = \frac{1}{0.524}$$

$$FS = 1.91$$

- Factor de Junta

Para el diseño basado para cargas frecuentes cruzando juntas con sistemas de transferencia, el factor de junta recomendado será de 1.5.

$$FJ = 1.5$$

- Esfuerzo de Trabajo del Concreto

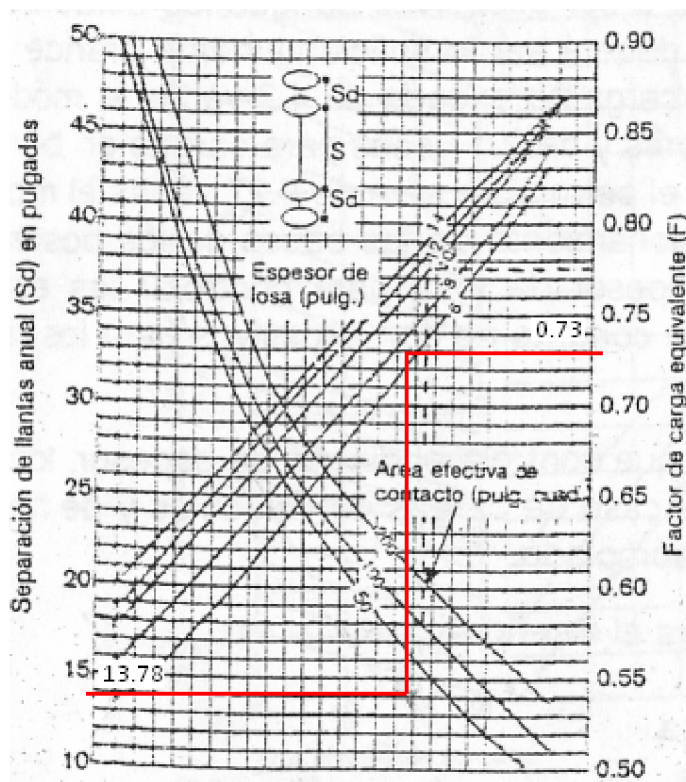
$$WS = \frac{MR}{FS \times FJ}$$

$$WS = \frac{625.86 \text{ psi}}{1.91 \times 1.5}$$

$$WS = 218.45 \text{ psi}$$

Para el cálculo de espesor por factor de equivalencia de carga es necesario suponer un espesor de losa que será de 18 cm (7.09 plg).

$$\text{Espesor de losa asumido} = 7.09 \text{ plg.}$$



Se ingresa en la figura 3.4, por la parte izquierda con una separación dual de llantas de 13.78 plg; desde ese punto se desplaza con línea horizontal hasta cortar a la línea de área efectiva de contacto de 40.19 plg^2 , a partir de ese punto con línea vertical cortar la línea de espesor inicial de losa de 7.09 plg; por último, desplazarse con línea horizontal hacia el extremo derecho de la gráfica hasta cortar el eje de factor de equivalencia de carga F que es igual a 0.73.

Carga en el eje = Factor carga equivalente de eje sencillo $\times$ Carga eje dual

Carga en el eje = $0.73 \times 19.29 \text{ kips}$

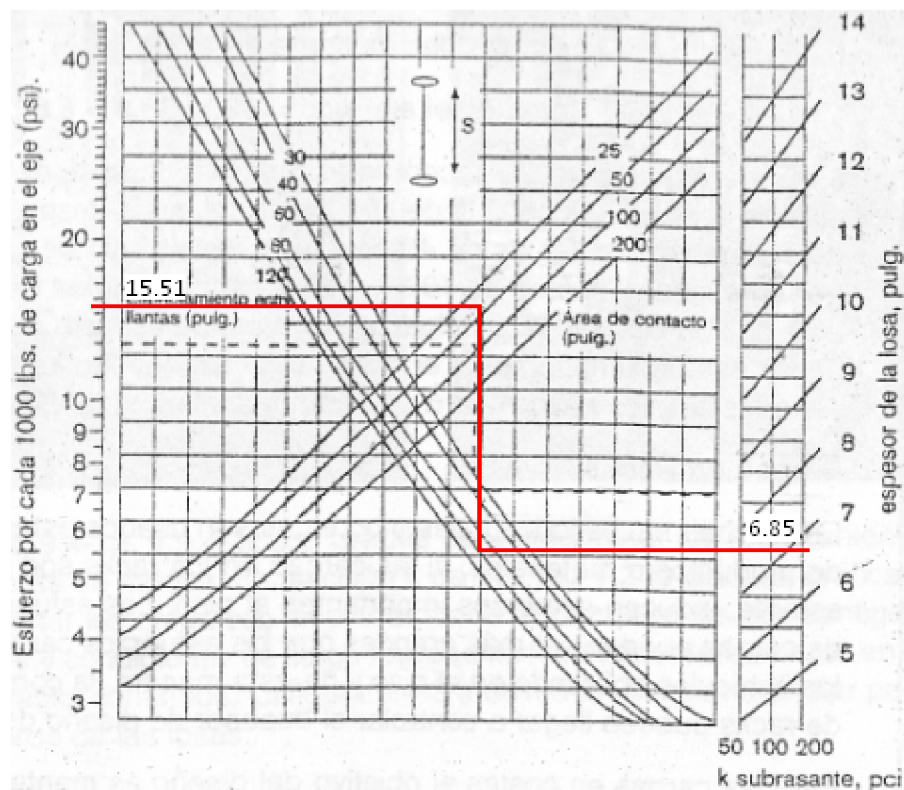
Carga en el eje = 14.08 kips

a) Esfuerzo en Losa por cada 1000 lb de carga en el eje

$$WC = \frac{WS}{\text{carga en el eje, kips}}$$

$$WC = \frac{218.45 \text{ psi}}{14.08 \text{ kips}}$$

$$WC = 15.51 \text{ psi}$$



Se ingresa por la parte izquierda de la figura 3.3, con un esfuerzo de 15.41 psi, se mueve a la derecha para el área de contacto de 40.19 plg², desde ese punto se desplaza hacia abajo para el espaciamiento de llantas de 80.71 plg, desde ahí se mueve el punto horizontalmente a la derecha para leer el espesor de la losa para el módulo de reacción de la subrasante de 189.66 pci, siendo el valor de espesor de losa de 6.85 plg.

El resultado de espesor diseñado tiene que ser comparado con el valor de espesor asumido, este proceso deberá ser repetido hasta que el espesor sumido y el espesor diseñado concuerden.

Espesor de losa asumido = 18 cm (7.09 plg)

Espesor de losa diseñado = 17.40 cm (6.85 plg)

El espesor final de losa del estacionamiento para la terminal de Entre Ríos diseñado para carga máxima de la flota de eje dual será de 18 cm (7.09 plg).

Para asegurar que el estacionamiento de la terminal de Entre Ríos soporte exitosamente y sin asentamiento, es de vital importancia construir la subbase para recibir la losa de concreto. Se establece como espesor de subbase 20 cm, el material granular de subbase será de calidad controlada que pueda proveer y añadir beneficios a la construcción y al desempeño del piso, debe cumplir con los requisitos mostrados en la tabla 1.1.

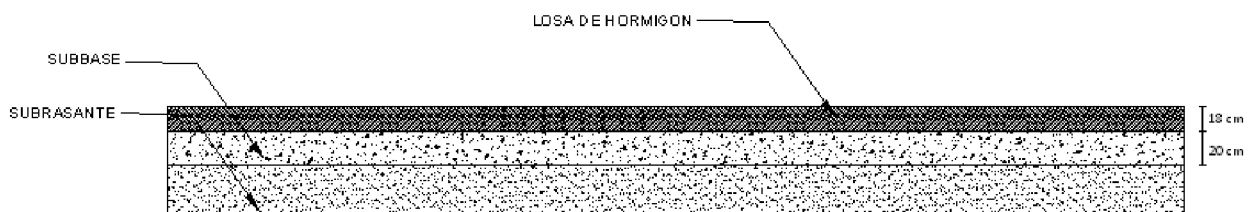


Figura 4.9. Sección Transversal de Losa de Estacionamiento Terminal Entre Ríos.

- b) Espesor de las losas para Piso Industrial de Bodegas y Viñedos La Cabaña (Kohlberg)
- Diseño de Espesor de Losa para Montacargas Eje Sencillo con Capacidad de Carga Máxima

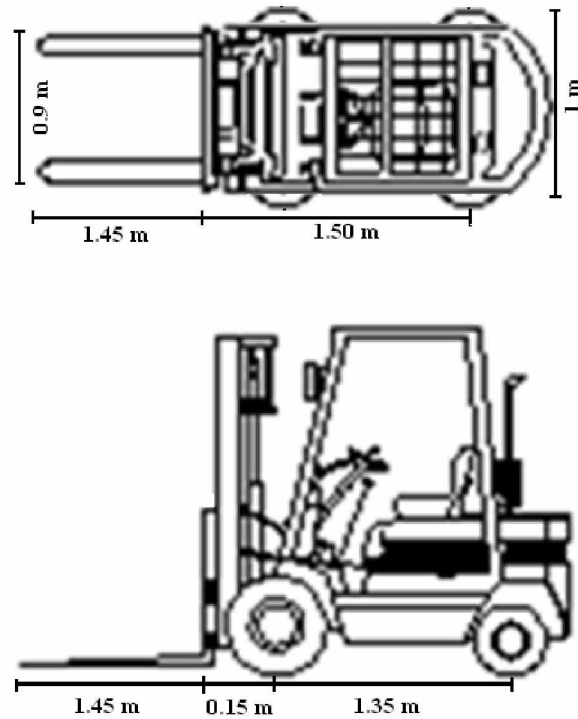


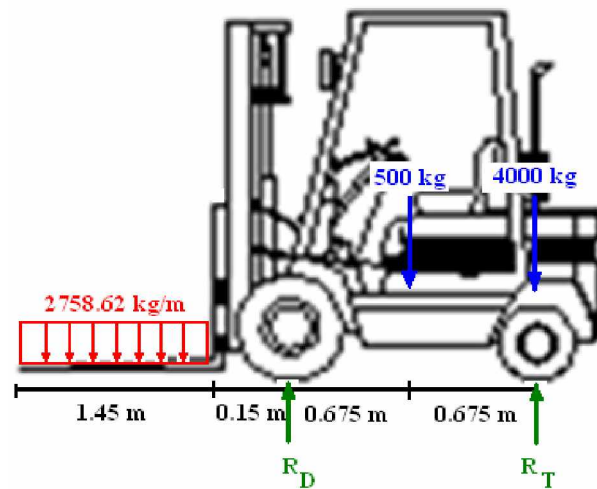
Figura 4.10. Configuración de montacargas

Fuente: Elaboración Propia.

Los datos de los pesos que actúan en el montacargas modelo DP 40 se obtuvo de las hojas técnicas de los fabricantes del vehículo, mientras que las dimensiones del vehículo se obtuvieron a través de mediciones.

La capacidad de carga máxima del montacargas es de 4000 kg, que actúa sobre una longitud de 1.45 m; por lo tanto, la carga distribuida que actúa sobre dicha longitud será igual a:

$$q = \frac{4000 \text{ kg}}{1.45 \text{ m}} = 2758.62 \frac{\text{kg}}{\text{m}}$$



Calculada la carga distribuida para la capacidad de carga máxima del montacargas, conociendo el peso propio y contrapeso, se procede al cálculo de reacciones para eje delantero y trasero:

$$\sum M_D = 0$$

$$500 \text{ kg} \times 0.675 \text{ m} + 4000 \text{ kg} \times 1.35 \text{ m} - R_T \times 1.35 \text{ m} - 2758.62 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 1.45 \text{ m} \times \left(\frac{1.45 \text{ m}}{2} + 0.15 \text{ m} \right) = 0$$

$$R_T = 1657.4 \text{ kg}$$

$$\sum M_T = 0$$

$$-2758.62 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 1.45 \text{ m} \times \left(\frac{1.45 \text{ m}}{2} + 0.15 \text{ m} + 1.35 \text{ m} \right) - 500 \text{ kg} \times 0.675 \text{ m} + R_D \times 1.35 \text{ m} = 0$$

$$R_D = 6842.6 \text{ kg}$$

Siendo:

R_T = Carga por eje trasero

R_D = Carga por eje delantero

El diseño para capacidad de carga máxima del montacargas se realizará tomando en cuenta el peso por eje más solicitado; por lo tanto el diseño se realizará para una carga por eje de 6842.6 kg.

Datos del montacargas

Eje cargado: 6842.6 kg (15.09 kips)

Espaciamiento de llantas: 100 cm (39.37 plg)

Número de llantas por eje: 2

Ancho de la llanta: 18 cm (7.09 plg)

$$\text{Área de contacto} = \text{Ancho de la llanta} \times 4 \text{ pulg}$$

$$\text{Área de contacto} = 7.09 \text{ pulg} \times 4 \text{ pulg}$$

$$\text{Área de contacto} = 28.36 \text{ pulg}^2$$

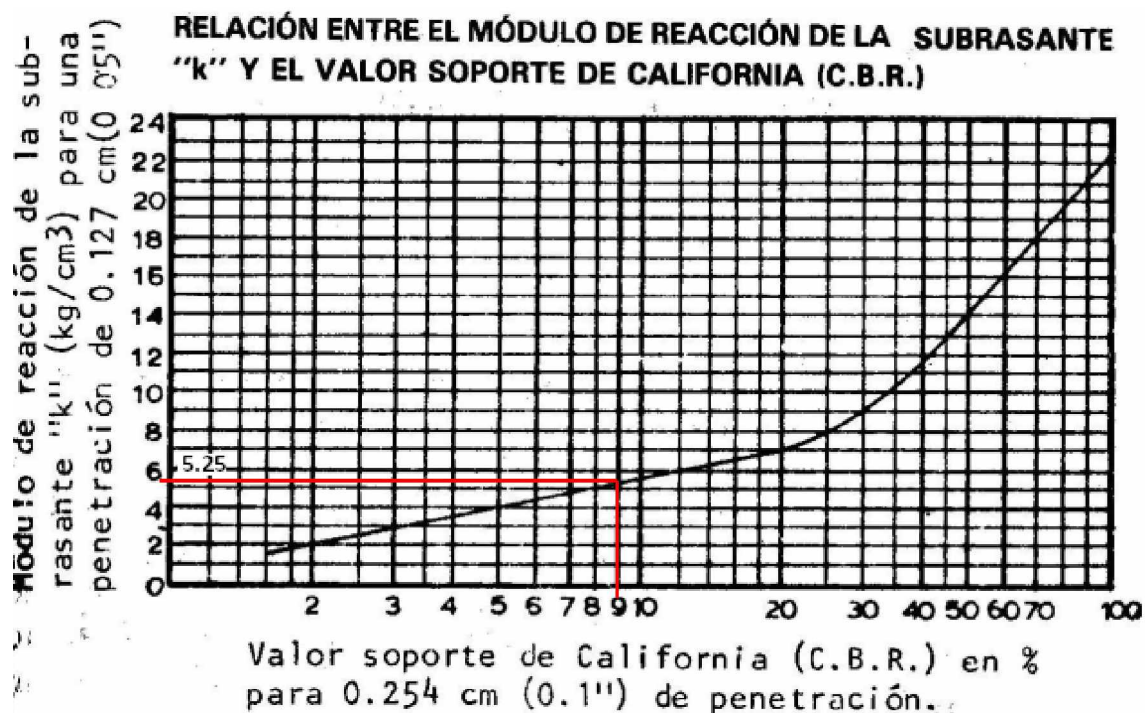
Datos de subrasante y concreto

A través de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras de suelo de la subrasante se determinó que el valor soporte de california (C.B.R.) con el que se diseñará es del 9 %.

El módulo de reacción k de la subrasante, es el parámetro que comúnmente se usa como parámetro de diseño de pavimentos rígidos, pues refleja las condiciones de respuesta de la subrasante ante condiciones de deformación temporal, al contrario del valor soporte de

california o capacidad de carga que reflejan la condición de deformación total de la subrasante.

El módulo de reacción k de la subrasante, es la propiedad correcta del suelo a emplearse en el diseño de pisos sujetos a condiciones de carga de llantas, cargas concentradas y distribuidas, por tanto se efectuará una relación entre el módulo de reacción de la subrasante " k " y el valor soporte de California haciendo uso de la figura 3.1.



Ingresamos por la parte inferior de la figura donde se localiza el punto correspondiente al valor soporte de california de 9 %; después, se desplaza en línea vertical hasta chocar con la curva, en ese punto se mueve hacia la izquierda en línea horizontal para encontrar el módulo de reacción de la subrasante " k " resultante de 5.25 kg/cm³.

La resistencia a la flexión en función a la especificación para pavimentos de este tipo se adopta un valor a los 28 días de 44 Kg/cm².

Módulo de reacción k de la subrasante: 5.25 kg/cm³ (189.66 pci)

Resistencia a la flexión del concreto: 44 Kg/cm² (625.86 psi)

- Factor de Seguridad

Se sabe que el montacargas no circulará frecuentemente a su capacidad máxima de carga, solamente de una a dos veces por semana para un piso diseñado para una vida útil de 30 años, por lo que se espera:

$$N^{\circ} \text{ de repeticiones} = N^{\circ} \text{ de veh.} \times \text{frecuencia por día} \times \text{días en los que actúa la carga por año} \times \text{vida útil}$$

$$N^{\circ} \text{ de repeticiones} = 1 \times \frac{2}{\text{día}} \times 105 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 30 \text{ años}$$

$$N^{\circ} \text{ de repeticiones} = 6300$$

Basados en esta información, un adecuado factor de seguridad puede ser seleccionado que se determina a partir del número de repeticiones del vehículo, para esto se ingresa a la tabla 3.1, para obtener así el valor de relación de esfuerzos. En caso que sea necesario, se deberá interpolar entre los diferentes valores de relación de esfuerzos.

Relación de esfuerzos	Repeticiones de Cargas Permisibles	Relación de esfuerzos	Repeticiones de Cargas Permisibles
<0.45	Ilimitadas	0.73	832
0.45	62,790,761	0.74	630
0.46	14,335,236	0.75	477
0.47	5,202,474	0.76	361
0.48	2,402,754	0.77	274
0.49	1,286,914	0.78	207
0.50	762,043	0.79	157
0.51	485,184	0.80	119

0.52	326,334	0.81	90
0.53	229,127	0.82	68
0.54	166,533	0.83	52
0.55	124,523	0.84	39
0.56	94,065	0.85	30
0.57	71,229	0.86	22
0.58	53,937	0.87	17
0.59	40,842	0.88	13
0.60	30,927	0.89	10
0.61	23,419	0.90	7
0.62	17,733	0.91	6
0.63	13,428	0.92	4
0.64	10,168	0.93	3
0.65	7,700	0.94	2
0.66	5,830	0.95	2
0.67	4,415	0.96	1
0.68	3,343	0.97	1
0.69	2,532	0.98	1
0.70	1,917	0.99	1
0.71	1,452	1.00	0
0.72	1,099	>1.00	0

Relación de esfuerzos → N° de repeticiones

0.65 → 7700

x → 6300

0.66 → 5830

Relación de esfuerzos x = 0.658

$$FS = \frac{1}{\text{Relación de esfuerzos}}$$

$$FS = \frac{1}{0.658}$$

$$FS = 1.52$$

- Factor de Junta

Para el diseño basado para cargas frecuentes cruzando juntas con sistemas de transferencia, el factor de junta recomendado será de 1.5.

$$FJ = 1.5$$

- Esfuerzo de Trabajo del Concreto

$$WS = \frac{MR}{FS \times FJ}$$

$$WS = \frac{625.86 \text{ psi}}{1.52 \times 1.5}$$

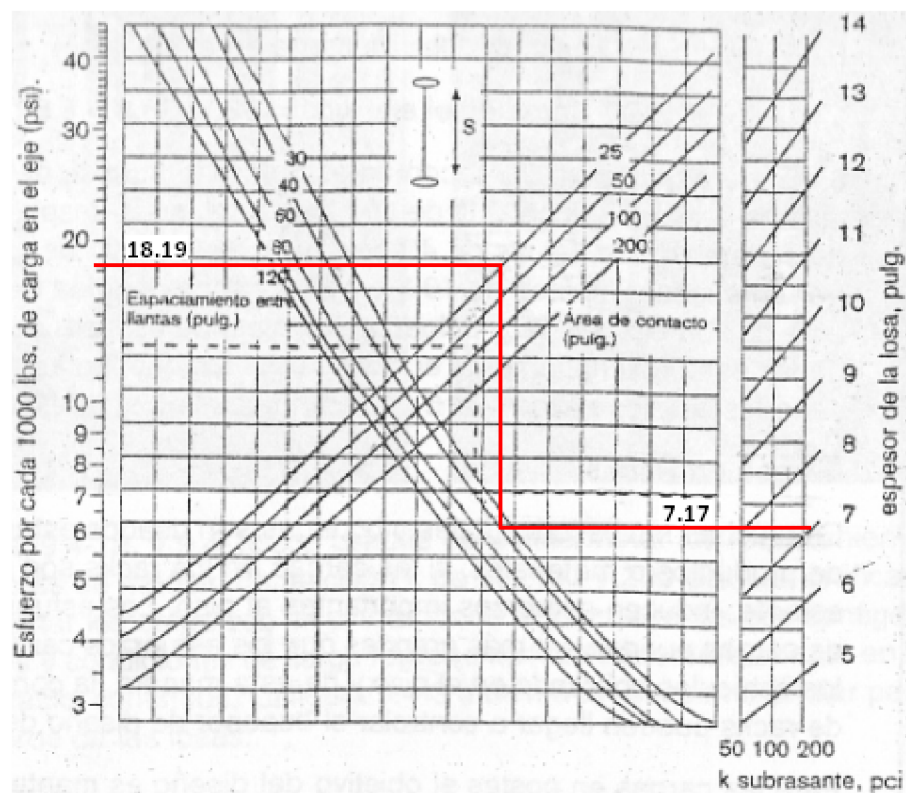
$$WS = 274.5 \text{ psi}$$

- Esfuerzo en Losa por cada 1000 lb de carga en el eje

$$WC = \frac{WS}{\text{carga en el eje, kips}}$$

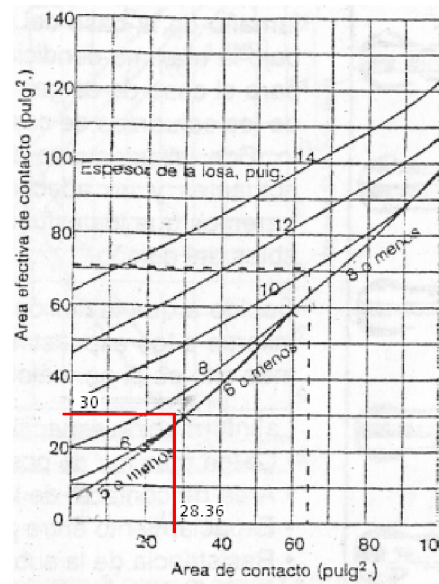
$$WC = \frac{274.5 \text{ psi}}{15.09 \text{ kips}}$$

$$WC = 18.19 \text{ psi}$$

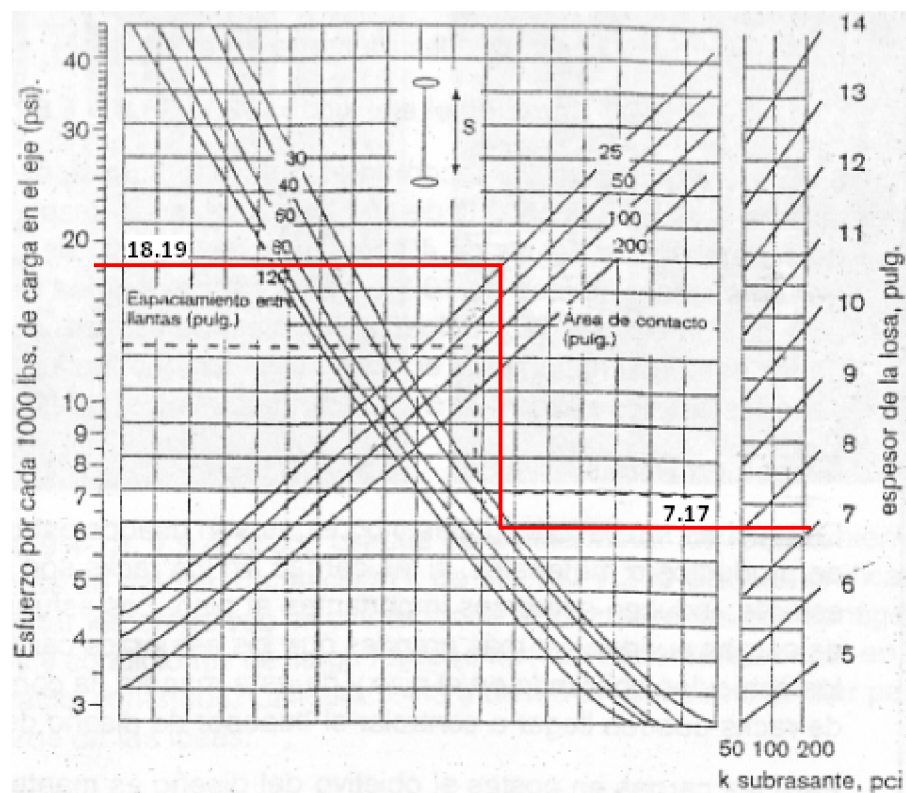


Se ingresa por la parte izquierda de la figura 3.3 con un esfuerzo de 18.19 psi, se mueve a la derecha para el área de contacto de 28.36 plg², desde ese punto se desplaza hacia abajo para el espaciamiento de llantas de 39.37 plg, desde ahí se mueve el punto horizontalmente a la derecha para leer el espesor de la losa para el módulo de reacción de la subrasante de 189.66 pci, siendo el valor de espesor de losa de 7.17 plg.

Una vez determinado el espesor de losa se usa la figura 3.5, para determinar si el área efectiva de contacto es significativamente más grande que el área de contacto actual.



Se ingresa por la parte inferior con el área de contacto actual de 28.36 plg², se mueve con línea vertical hasta cortar a la curva de 7.17 plg de espesor de losa, desde ese punto se desplaza con línea horizontal hacia la izquierda para leer el área efectiva de contacto de 30 plg².



Con el nuevo valor de área de contacto efectiva de 30 plg², un esfuerzo de 18.19 psi, espaciamiento de llantas de 39.37 plg, módulo de reacción de la subrasante de 189.66 pci, se ingresa a la figura 3.3 siendo el valor de espesor de losa de 7.17 plg.

Constructivamente el espesor final de losa para la capacidad de carga máxima del montacargas de eje sencillo será de 19 cm (7.48 plg).

- Diseño de Espesor de Losa para Montacargas Eje Sencillo con Capacidad de Carga Máxima por Palé

En cada palé se acomodan 120 cajas, el peso de cada caja es de 7 kg por lo tanto la carga por palé será:

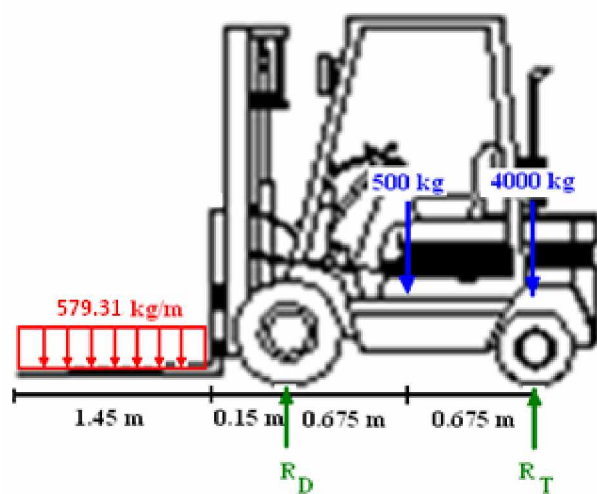
$$Carga\ por\ palé = N^{\circ}\ de\ cajas \times peso\ por\ caja$$

$$Carga\ por\ palé = 120\ cajas \times 7\ \frac{kg}{caja}$$

$$Carga\ por\ palé = 840\ kg$$

La carga por palé es de 840 kg, que actúa sobre una longitud de 1.45 m por lo tanto la carga distribuida que actúa sobre dicha longitud será igual a:

$$q = \frac{840\ kg}{1.45\ m} = 579.31\ \frac{kg}{m}$$



Calculada la carga distribuida para la carga por palé, conociendo el peso propio y contrapeso, se procede al cálculo de reacciones para eje delantero y trasero:

$$\sum M_D = 0$$

$$500 \text{ kg} \times 0.675 \text{ m} + 4000 \text{ kg} \times 1.35 \text{ m} - R_T \times 1.35 \text{ m}$$

$$- 579.31 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 1.45 \text{ m} \times \left(\frac{1.45 \text{ m}}{2} + 0.15 \text{ m} \right) = 0$$

$$R_T = 3705.56 \text{ kg}$$

$$\sum M_T = 0$$

$$- 579.31 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 1.45 \text{ m} \times \left(\frac{1.45 \text{ m}}{2} + 0.15 \text{ m} + 1.35 \text{ m} \right) - 500 \text{ kg} \times 0.675 \text{ m}$$

$$+ R_D \times 1.35 \text{ m} = 0$$

$$R_D = 1634.44 \text{ kg}$$

Siendo:

R_T = Carga por eje trasero

R_D = Carga por eje delantero

El diseño para la carga por palé se realizará tomando en cuenta el peso por eje más solicitado, por lo tanto el diseño se realizará para una carga por eje de 3705.56 kg.

Datos del montacargas

Eje cargado: 3705.56 kg (8.17 kips)

Espaciamiento de llantas: 100 cm (39.37 plg)

Número de llantas por eje: 2

Ancho de la llanta: 18 cm (7.09 plg)

$$\text{Área de contacto} = \text{Ancho de la llanta} \times 4 \text{ pulg}$$

$$\text{Área de contacto} = 7.09 \text{ pulg} \times 4 \text{ pulg}$$

$$\text{Área de contacto} = 28.36 \text{ pulg}^2$$

Datos de subrasante y concreto

Valor soporte de california (C.B.R.) con el que se diseñará es del 9 %.

Módulo de reacción k de la subrasante: 5.25 kg/cm³ (189.66 pci)

Resistencia a la flexión del concreto: 44 Kg/cm² (625.86 psi)

- Factor de Seguridad

Se sabe que la producción diaria de la bodega de Kohlberg es de 3600 botellas, la capacidad por palé es de 120 cajas y cada caja contiene 6 botellas, en función de la producción diaria se conocerá la frecuencia.

$$Frecuencia = \frac{Producción\ diaria}{Capacidad\ por\ palé}$$

$$Frecuencia = \frac{3600\ botellas}{120\ cajas \times \frac{6\ botellas}{1\ caja}}$$

$$Frecuencia = 5$$

El montacargas realiza el traslado de los palés, el cual consiste en llevar, descargar y volver, cargar; la frecuencia diaria deberá ser el doble de la frecuencia ya calculada.

$$Frecuencia\ diaria = Frecuencia \times 2$$

$$Frecuencia\ diaria = 5 \times 2$$

$$Frecuencia\ diaria = 10$$

El cálculo del número de repeticiones considera los siguientes parámetros: vida útil de 30 años y frecuencia diaria de 10, por lo que se espera:

$$N^{\circ}\ de\ repeticiones = N^{\circ}\ de\ veh. \times frecuencia\ por\ día \times días\ en\ los\ que\ actúa \\ la\ carga\ por\ año \times vida\ útil$$

$$N^{\circ}\ de\ repeticiones = 1 \times \frac{10}{día} \times 365 \frac{días}{año} \times 30\ años$$

$$N^{\circ} \text{ de repeticiones} = 109500$$

El factor de seguridad se determina a partir del número de repeticiones del vehículo; para esto se ingresa a la tabla 3.1, para obtener así el valor de relación de esfuerzos.

Relación de esfuerzos $\longrightarrow$ N° de repeticiones

0.55 $\longrightarrow$ 124523

x $\longrightarrow$ 109500

0.56 $\longrightarrow$ 94065

Relación de esfuerzos x = 0.555

$$FS = \frac{1}{\text{Relación de esfuerzos}}$$

$$FS = \frac{1}{0.555}$$

$$FS = 1.80$$

- Factor de Junta

Para el diseño basado para cargas frecuentes cruzando juntas con sistemas de transferencia, el factor de junta recomendado será de 1.5.

$$FJ = 1.5$$

- Esfuerzo de Trabajo del Concreto

$$WS = \frac{MR}{FS \times FJ}$$

$$WS = \frac{625.86 \text{ psi}}{1.80 \times 1.5}$$

$$WS = 231.8 \text{ psi}$$

- Esfuerzo en Losa por cada 1000 lb de carga en el eje

$$WC = \frac{WS}{\text{carga en el eje, kips}}$$

$$WC = \frac{231.8 \text{ psi}}{8.17 \text{ kips}}$$

$$WC = 28.37 \text{ psi}$$

Se ingresa a la figura 3.3, con un esfuerzo de 28.37 psi, área de contacto de 28.36 plg², espaciamiento de llantas de 39.37 plg y módulo de reacción de la subrasante de 189.66 pci, obteniendo el valor de espesor de losa de 5.17 plg.

Una vez determinado el espesor de losa, se usa la figura 3.5, para determinar si el área efectiva de contacto es significativamente más grande que el área de contacto actual.

Se ingresa con el área de contacto actual de 28.36 plg², espesor de losa 5.17 plg, obteniendo así el área efectiva de contacto de 24 plg².

Con el nuevo valor de área efectiva de contacto de 24 plg², esfuerzo de 18.19 psi, espaciamiento de llantas de 39.37 plg, módulo de reacción de la subrasante de 189.66 pci, se ingresa a la figura 3.3, siendo el valor de espesor de losa de 5.17 plg.

Constructivamente el espesor final de losa para la carga de palé será de 14 cm (5.51 plg).

Calculado el espesor de losa para las cargas de vehículos, se determina que el espesor de losa más adecuado es el de 19 cm que fue calculado para la capacidad de carga máxima del

montacargas de eje sencillo; antes de determinar si este será el valor final de espesor de losa se deberá verificar para cargas distribuidas si el espesor de losa de 19 cm es capaz de resistir la carga distribuida admisible.

- Diseño de Espesor de Losa para Carga Distribuida de Tanque a Carga Máxima

Después de seleccionado un espesor de losa considerando el vehículo más pesado y las cargas por poste de racks, los efectos de las cargas distribuidas deben ser también examinados.

Datos del Tanque

Peso de tanque: 3500 kg

Carga aplicada al tanque: 24000 kg

Dimensionamiento de la base del tanque: circular de 2.99 m (117.72 plg)

Datos de subrasante y concreto

Valor soporte de california (C.B.R.): 9 %.

Módulo de reacción k de la subrasante: 5.25 kg/cm^3 (189.66 pci)

Resistencia a la flexión del concreto: 44 Kg/cm^2 (625.86 psi)

- Factor de seguridad

El factor de seguridad será de 2 ya que los tanques dentro del área de almacenamiento tendrán un arreglo conocido.

$$FS = 2$$

- Factor de Junta

El factor de junta será de 1.2 ya que en el diseño se considera que los tanques se colocarán en el interior de la losa y que la disposición permanecerá fija durante toda la vida útil de servicio del piso.

$$FJ = 1.2$$

- Esfuerzos de trabajo en el concreto

$$WS = \frac{MR}{FS \times FJ}$$

$$WS = \frac{625.86 \text{ psi}}{2 \times 1.2}$$

$$WS = 260.78 \text{ psi}$$

Carga Distribuida Actuante

Peso total del tanque = Peso de tanque + Peso aplicado al tanque

Peso total del tanque = 3500 kg + 24000 kg

Peso total del tanque = 27500 kg

$$\text{Área de aplicación de peso actuante} = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$\text{Área de aplicación de peso actuante} = \frac{\pi}{4} (2.99 \text{ m})^2$$

$$\text{Área de aplicación de peso actuante} = 7.02 \text{ m}^2$$

$$Carga\ distribuida\ actuante = \frac{Peso\ total\ del\ tanque}{Área\ de\ aplicación\ de\ peso\ actuante}$$

$$Carga\ distribuida\ actuante = \frac{27500\ kg}{7.02\ m^2}$$

$$Carga\ distribuida\ actuante = 3917.38\ \frac{kg}{m^2}$$

Conocido el espesor de losa igual a 19 cm, el esfuerzo de trabajo del concreto 260.78 psi, el módulo de reacción k de la subrasante 189.66 pci, las dimensiones de losa que se construirán de 3 m longitud transversal y 4 m longitud longitudinal, siendo la longitud de 3 m el ancho de pasillo, y considerando que el arreglo permanecerá fijo durante toda la vida útil de servicio del piso, las cargas distribuidas máximas admisibles se muestran en las tablas 3.3.

CARGA DISTRIBUIDA PERMISIBLE																
(Para arreglo fijo o definido de la carga)																
Espesor		Esfuerzo de trabajo (psi)	Ancho crítico de pasillo		Al Ancho crítico de pasillo		En Pasillo de 6 pies de ancho (1.8 m)		En Pasillo de 8 pies de ancho (2.4 m)		En Pasillo de 10 pies de ancho (3.0 m)		En Pasillo de 12 pies de ancho (3.6 m)		En Pasillo de 14 pies de ancho (4.2 m)	
pulg	cm		pies	m	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²	psf	Kg/m ²
Módulo de Reacción k de la subrasante = 100 pci																
5	12.7	300	4.7	1.4	865	4,223	900	4,394	1,090	5,322	1,470	7,177	745	8,520	1,810	8,837
		350	4.7	1.4	1,010	4,931	1,050	5,127	1,270	6,201	1,715	8,373	2,035	9,236	2,115	10,326
		400	4.7	1.4	1,015	5,444	1,200	5,859	1,455	7,104	1,955	9,545	2,325	11,352	2,415	11,791
6	15.2	300	5.4	1.6	950	4,638	955	4,663	1,065	5,200	1,320	6,445	1,700	8,300	1,925	9,399
		350	5.4	1.6	1,105	5,395	1,115	5,444	1,245	6,079	1,540	7,519	1,985	9,692	2,245	10,961
		400	5.4	1.6	1,265	6,176	1,275	6,225	1,420	6,933	1,760	8,593	2,270	11,083	2,565	12,523
8	20.3	300	6.7	2.0	1,095	5,346	1,105	5,395	1,120	5,468	1,240	6,054	1,465	7,153	1,815	6,662
		350	6.7	2.0	1,280	6,249	1,285	6,274	1,305	6,372	1,445	7,053	1,705	8,324	2,120	10,351
		400	6.7	2.0	1,460	7,128	1,470	7,177	1,495	7,299	1,650	8,056	1,950	9,521	2,420	11,815
10	25.4	300	7.9	2.4	1,215	5,932	1,265	6,176	1,215	5,932	1,270	6,201	1,395	6,811	1,160	7,861
		350	7.9	2.4	1,420	6,933	1,475	7,202	1,420	6,933	1,480	7,223	1,630	7,958	1,880	9,179
		400	7.9	2.4	1,625	7,934	1,645	8,032	1,625	7,934	1,690	8,251	1,560	9,081	2,150	10,497
12	30.5	300	9.1	2.8	1,320	6,445	1,425	6,957	1,325	6,469	1,330	6,494	1,400	6,830	1,535	7,494
		350	9.1	2.8	1,540	7,519	1,685	8,129	1,545	7,543	1,550	7,568	1,635	7,983	1,880	9,179
		400	9.1	2.8	1,755	8,569	1,900	9,277	1,770	8,642	1,770	8,542	1,865	9,106	2,050	10,009
14	35.6	300	10.2	3.1	1,405	6,860	1,590	7,763	1,445	7,055	1,405	5,860	1,435	7,006	1,525	7,446
		350	10.2	3.1	1,640	8,007	1,855	9,057	1,685	8,227	1,640	8,007	1,675	8,178	1,775	8,668
		400	10.2	3.1	1,875	9,155	2,120	10,351	1,925	9,399	1,875	9,155	1,915	9,350	2,030	9,911

Se debe interpolar:

Para un módulo de reacción k de la subrasante igual a 100 pci.

En tabla tenemos el mínimo valor de esfuerzo de trabajo de 300 psi, el valor calculado de esfuerzo de trabajo del proyecto es de 260.78 psi; por lo tanto, se asumirá que el valor de esfuerzo de trabajo es 300 psi, se debe para los espesores de losa entre de 15.2 y 20.3 cm.

Esfuerzo de trabajo psi → Carga distribuida permisible

300 → 6445

Carga distribuida permisible para espesor de losa de 15.2 cm y esfuerzo de trabajo de 300 psi es igual a 6445 kg/m²

Esfuerzo de trabajo psi	→	Carga distribuida permisible
300	→	6054

Carga distribuida permisible para espesor de losa de 20.3 cm y esfuerzo de trabajo permisible de 300 psi es igual a 6054 kg/m²

Obtenida la carga distribuida para el valor de esfuerzo de trabajo de 300 psi, se debe interpolar entre los espesores de losa de 15.2 y 20.3 cm, ya que el espesor de losa determinado a través del dimensionamiento para cargas de vehículos es de 19 cm.

Espesor de losa cm	→	Carga distribuida permisible
15.2	→	6445
19	→	x
20.3	→	6054

Carga distribuida permisible para espesor de losa de 19 cm, esfuerzo de trabajo permisible de 300 psi y módulo de reacción k de la subrasante igual a 100 pci, es igual a 6153.67 kg/m²

CARGA DISTRIBUIDA PERMISIBLE																
(Para arreglo fijo o definido de la carga)																
Espesor		Esfuerzo de trabajo (psi)	Ancho crítico de pasillo		Al Ancho crítico de pasillo		En Pasillo de 6 pies de ancho (1.8 m)		En Pasillo de 8 pies de ancho (2.4 m)		En Pasillo de 10 pies de ancho (3.0 m)		En Pasillo de 12 pies de ancho (3.6 m)		En Pasillo de 14 pies de ancho (4.2 m)	
pulg	cm		pies	m	psf	Kg/m²	psf	Kg/m²	psf	Kg/m²	psf	Kg/m²	psf	Kg/m²	psf	Kg/m²
Módulo de Reacción k de la subrasante = 200 pci																
5	12.7	300	5.6	1.7	1,225	5,981	1,400	6,835	1,930	9,423	2,450	11,962	2,565	12,523	2,520	12,304
		350	5.6	1.7	1,425	6,597	1,630	7,958	2,255	11,010	2,860	13,964	2,990	14,598	2,940	14,354
		400	5.6	1.7	1,630	7,958	1,865	9,106	2,575	12,572	3,270	15,965	3,420	16,698	3,360	16,405
6	15.2	300	6.4	2.0	1,340	6,542	1,415	6,909	1,755	8,569	2,395	11,593	2,740	13,378	2,810	13,720
		350	6.4	2.0	1,565	7,641	1,650	8,056	2,050	10,009	2,800	13,671	3,200	15,624	3,275	15,990
		400	6.4	2.0	1,785	8,715	1,890	9,228	2,345	11,449	3,190	15,575	3,655	17,845	3,745	18,285
8	20.3	300	8.0	2.4	1,550	7,568	1,550	7,568	1,695	8,276	2,045	9,985	2,635	12,865	3,070	14,989
		350	8.0	2.4	1,810	8,837	1,810	8,837	1,980	9,667	2,385	11,645	3,075	15,013	3,580	17,479
		400	8.0	2.4	2,065	10,082	2,070	10,107	2,615	12,767	2,730	13,329	3,515	17,162	4,095	19,993
10	25.4	300	9.4	2.9	1,730	8,447	1,745	8,520	1,775	8,666	1,965	9,594	2,330	11,376	2,895	14,135
		350	9.4	2.9	2,020	9,862	2,035	9,936	2,070	10,107	2,290	11,181	2,715	13,256	2,300	16,112
		400	9.4	2.9	2,310	11,278	2,325	11,352	2,365	11,547	2,620	12,792	3,105	15,160	3,860	18,846
12	30.5	300	10.8	3.3	1,890	9,228	1,945	9,496	1,895	9,252	1,995	9,740	2,230	10,888	2,610	12,743
		350	10.8	3.3	2,205	10,765	2,270	11,083	2,210	10,790	2,330	11,876	2,600	12,694	3,045	14,867
		400	10.8	3.3	2,520	12,303	2,595	12,370	2,525	12,328	2,660	12,980	2,972	14,510	3,480	16,991
14	35.6	300	12.1	3.7	2,025	9,867	2,150	10,497	2,030	9,911	2,065	10,082	2,210	10,790	2,480	12,108
		350	12.1	3.7	2,360	11,522	5,510	12,255	2,365	11,547	2,405	11,742	2,580	12,597	2,890	14,110
		400	12.1	3.7	2,700	13,182	2,370	14,012	2,705	13,207	2,750	13,427	2,950	14,403	3,305	16,136

Se debe interpolar:

Para un módulo de reacción k de la subrasante igual a 200 pci.

En tabla tenemos el mínimo valor de esfuerzo de trabajo de 300 psi, el valor calculado de esfuerzo de trabajo del proyecto es de 260.78 psi por lo tanto se asumirá que el valor de esfuerzo de trabajo es 300 psi, se debe para los espesores de losa entre de 15.2 y 20.3 cm.

Esfuerzo de trabajo psi → Carga distribuida permisible

300



11593

Carga distribuida permisible para espesor de losa de 15.2 cm y esfuerzo de trabajo permisible de 300 psi es igual a 11593 kg/m²

Esfuerzo de trabajo psi	→	Carga distribuida permisible
300	→	9985

Carga distribuida permisible para espesor de losa de 20.3 cm y esfuerzo de trabajo permisible de 300 psi es igual a 9985 kg/m²

Obtenido la carga distribuida para el valor de esfuerzo de trabajo de 300 psi, se deberá interpolar entre los espesores de losa de 15.2 y 20.3 cm, ya que el espesor de losa determinado a través del dimensionamiento para cargas de vehículos es de 19 cm.

Espesor de losa cm	→	Carga distribuida permisible
15.2	→	11593
19	→	x
20.3	→	9985

Carga distribuida permisible para espesor de losa de 19 cm, esfuerzo de trabajo de 300 psi y módulo de reacción k de la subrasante igual a 200 pci, es igual a 10394.88 kg/m²

Para un módulo de reacción k de la subrasante igual a 189.66 pci.

Finalmente se deberá interpolar los valores de carga distribuida permisible para el módulo de reacción k de la subrasante igual a 189.66 pci.

Módulo de reacción k de la subrasante	→	Carga distribuida permisible
100	→	6153.67
189.66	→	x
200	→	10394.88

La carga distribuida permisible para espesor de losa de 19 cm, esfuerzo de trabajo de 300 psi y módulo de reacción k de la subrasante 189.66 pci es de 9956.34 kg/m^2

Carga distribuida actuante < Carga distribuida permisible

$$3917.38 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} < 9956.34 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

El espesor de losa determinado para cargas de vehículos, ha sido verificado para cargas distribuidas, demostrando que el espesor determinado resistirá la acción de las cargas distribuidas; por lo tanto, el espesor final del piso industrial para las bodegas y Viñedos La Cabaña, será igual a 19 cm.

Para asegurar que el piso industrial de las Bodegas y Viñedos La Cabaña, soporte exitosamente y sin asentamiento, es de vital importancia construir la subbase para recibir a la losa de concreto. Se establece como espesor de subbase 20 cm; el material granular de subbase será de calidad controlada que pueda proveer y añadir beneficios a la construcción y al desempeño del piso, debe cumplir con los requisitos mostrados en la tabla 1.1.



Figura 4.11. Sección Transversal de Piso Industrial Bodegas y Viñedos La Cabaña

4.5.2.3. Juntas

La función de las juntas longitudinales es controlar los efectos del cambio volumétrico del concreto debido a los cambios de temperatura ambiente y cumplen también la función de facilitar el proceso constructivo.

Las juntas transversales por su parte cumplen funciones más amplias, deben controlar el fenómeno de retracción del concreto, controlar los movimientos diferenciales entre el pavimento y las estructuras vecinas y facilitar el proceso constructivo.

Todos los pavimentos de concreto requieren del diseño adecuado de juntas, el cual parte del chequeo de las dimensiones para evitar fisuración y agrietamiento debido al fenómeno de contracción volumétrica y alabeo producido por los cambios de temperatura.

Las juntas constituyen puntos vulnerables para los materiales de apoyo y el deterioro es mayor cuanto más baja sea la calidad del material. En presencia de agua, las juntas permiten la migración de ella a través de la interfase losa- base y base- subrasante; el agua acumulada es expulsada a presión bajo el efecto de las cargas arrastrando con ella gran cantidad de finos, el resultado final es una gran oquedad bajo la junta que permite que la losa trabaje en voladizo.

Para nuestro estudio, se tiene los siguientes tipos de juntas:

a) Juntas de las losas para Estacionamiento de la Terminal de Entre Ríos

Con el propósito de mantener unidas las losas de pavimento rígido o con el fin de transmitir cargas verticales de una losa a otra, se emplea dispositivos especiales llamados pasadores y pasajuntas; es muy común emplear como pasadores varillas corrugadas redondas de 5/8" y como pasajuntas varillas lisas redondas de 5/8" de diámetro.

- Pasadores

Su objetivo es mantener con ellos unidas a las losas, el esfuerzo máximo de tensión a que las barras pasadores pueden estar sometidas será igual al esfuerzo necesario para fricción entre el pavimento y la subrasante o la subbase, en la distancia comprendida entre la junta y el bordo libre. Es muy común emplear como pasadores varillas corrugadas redondas de 5/8" de diámetro.

Datos diseño para Pasadores

Tipo de varillas: Corrugadas

Diámetro de varillas: 5/8" (1.59 cm)

Esfuerzo de trabajo a tensión del acero: 1400 kg/cm²

Distancia de junta a junta: 3 m (300 cm)

Espesor de la losa: 18 cm

Peso volumétrico del concreto: 2.2 ton/m³

Esfuerzo admisible de adherencia entre el concreto y el acero: 29 kg/cm²

Coeficiente de fricción: 2

La separación de pasadores se calcula a través de la siguiente expresión:

$$l = \frac{\pi \times d^2 \times f_s}{4 \times a \times h \times \gamma \times f}$$

$$l = \frac{\pi \times (1.59 \text{ m})^2 \times 1400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{4 \times 300 \text{ cm} \times 18 \text{ cm} \times 0.0022 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \times 2}$$

$$l = 117 \text{ cm}$$

De acuerdo al Ing. Carlos Crespo Villalaz, el rango de separación máxima para pasadores es de 45 cm y la separación mínima de 20 cm.

Por tanto, la separación final de pasadores será:

$$l = 45 \text{ cm}$$

La longitud de las varillas pasadores que se emplean para mantener las losas unidas se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$b = \frac{\pi \times d^2 \times f_s}{4 \times p \times u}$$

$$b = \frac{\pi \times (1.59 \text{ cm})^2 \times 1400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{4 \times 5 \text{ cm} \times 29 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

Como la fórmula solo considera la mitad de la longitud necesaria para pasadores, la longitud final de pasadores será:

$$\text{Longitud final de pasadores} = b \times 2$$

$$\text{Longitud final de pasadores} = 20 \text{ cm} \times 2$$

$$\text{Longitud final de pasadores} = 40 \text{ cm}$$

- Pasajuntas

El objetivo de las pasajuntas es transferir cargas de una losa a otra, permitiendo que las juntas puedan abrir y cerrar, pero manteniendo las losas a la misma altura.

A continuación, se muestra la tabla de diámetro recomendado de pasajuntas de acuerdo al espesor de losa:

Datos diseño para Pasajuntas

Tipo de varillas: Lisas

Diámetro de varillas: 5/8" (1.59 cm)

Carga de rueda: 8750 kg

Se calcula el radio de rigidez relativa entre losa y subrasante, a través de la fórmula:

$$I = \sqrt[4]{\frac{E \times h^3}{12 \times (1 - u^2) \times k}}$$

$$I = \sqrt[4]{\frac{281227 \frac{kg}{cm^2} \times (18 \text{ cm})^3}{12 \times (1 - 0.15^2) \times 4.75 \frac{kg}{cm^3}}}$$

$$I = 73.66 \text{ cm}$$

De la tabla 2.5 para las capacidades de transmisión de cargas en kg, se determina la capacidad de transmisión de carga para el pasajuntas de 5/8" y abertura de junta de 5 mm.

$$N^{\circ} \text{ de pasajuntas} = \frac{\text{Carga de rueda}}{\text{Capacidad de transmisión de carga de un pasajuntas}}$$

$$N^{\circ} \text{ de pasajuntas} = \frac{8750 \text{ kg}}{2500 \text{ kg}}$$

$$N^{\circ} \text{ de pasajuntas} = 4$$

Donde cuatro son las pasajuntas necesarias a distancias uniformes en la longitud 1.8 I.

Conociendo la rigidez relativa se procede al cálculo de separación de pasajuntas, a través de la fórmula indicada a continuación:

$$\text{Separación de pasajuntas} = \frac{1.8 \times I}{N^{\circ} \text{ de pasajuntas} - 1}$$

$$\text{Separación de pasajuntas} = \frac{1.8 \times 73.66 \text{ cm}}{4 - 1}$$

$$\text{Separación de pasajuntas} = 44.20 \text{ cm}$$

De acuerdo al Ing. Carlos Crespo Villalaz, el rango de separación máxima para pasajuntas es de 40 cm y la separación mínima de 30 cm.

Por tanto la separación final de pasajuntas será:

$$l = 40 \text{ cm}$$

De la tabla 2.5 para las capacidades de transmisión de cargas en kg, se determina la longitud recomendada del pasajuntas para un diámetro de 5/8" y abertura de junta de 5 mm, siendo ésta:

$$L = 37.5 \text{ cm}$$

Diseño de Pasadores y Pasajuntas para Estacionamiento Terminal de Entre Ríos	
Pasadores	
Diámetro de varilla	1.59 cm
Separación de pasadores	45 cm
Longitud de pasadores	40 cm
Pasajuntas	
Diámetro de varilla	1.59 cm
Separación de pasajuntas	40 cm
Longitud de pasajuntas	37.5 cm

Tabla 4.13. Dimensión de Pasadores y Pasajuntas para Estacionamiento Terminal de Entre Ríos

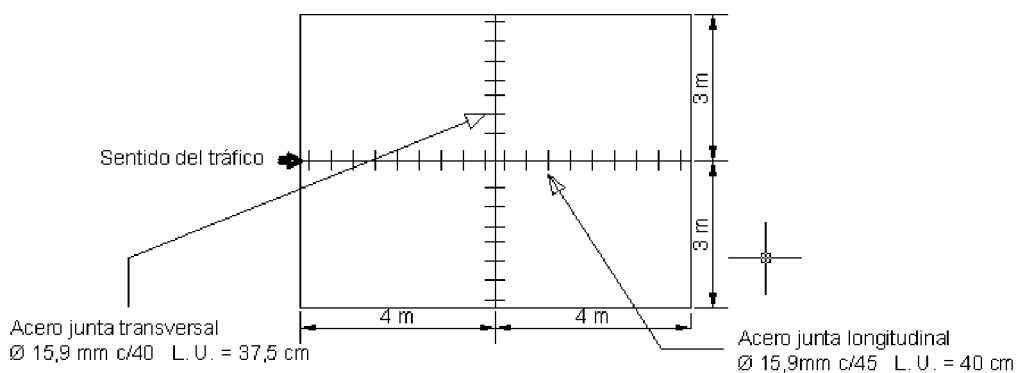


Figura 4.12. Disposición de pasadores y pasajuntas para estacionamiento de la Terminal de Entre Ríos

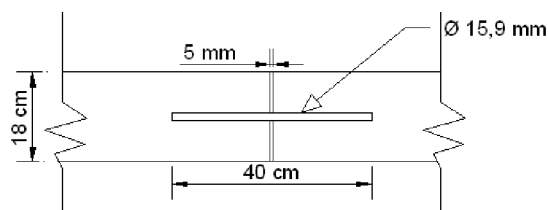


Figura 4.13. Sección transversal de junta con pasador para estacionamiento de la Terminal de Entre Ríos

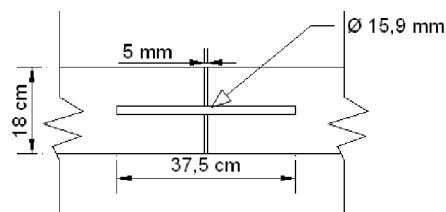


Figura 4.14. Sección transversal de junta con pasajuntas para estacionamiento de la Terminal de Entre Ríos

b) Juntas de las losas para Bodegas y Viñedos La Cabaña (Kohlberg)

Con el propósito de mantener unidas las losas de pavimento rígido o con el fin de transmitir cargas verticales de una losa a otra, se emplea dispositivos especiales llamados pasadores y pasajuntas; es muy común emplear como pasadores varillas corrugadas redondas de 5/8" y como pasajuntas varillas lisas redondas de 5/8" de diámetro.

- Pasadores

Su objetivo es mantener con ellos unidas a las losas; el esfuerzo máximo de tensión a que las barras pasadores pueden estar sometidas será igual al esfuerzo necesario para fricción entre el pavimento y la subrasante o la subbase, en la distancia comprendida entre la junta y el bordo libre.

Datos diseño para Pasadores

Tipo de varillas: Corrugadas

Diámetro de varillas: 5/8" (1.59 cm)

Esfuerzo de trabajo a tensión del acero: 1400 kg/cm²

Distancia de junta a junta: 3 m (300 cm)

Espesor de la losa: 19 cm

Peso volumétrico del concreto: 2.2 ton/m³

Esfuerzo admisible de adherencia entre el concreto y el acero: 29 kg/cm²

Coeficiente de fricción: 2

La separación de pasadores se calcula a través de la siguiente expresión:

$$l = \frac{\pi \times d^2 \times f_s}{4 \times a \times h \times \gamma \times f}$$

$$l = \frac{\pi \times (1.59 \text{ m})^2 \times 1400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{4 \times 300 \text{ cm} \times 19 \text{ cm} \times 0.0022 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^3} \times 2}$$

$$l = 111 \text{ cm}$$

De acuerdo al Ing. Carlos Crespo Villalaz, el rango de separación máxima para pasadores es de 45 cm y la separación mínima de 20 cm.

Por tanto la separación final de pasadores será:

$$l = 45 \text{ cm}$$

La longitud de las varillas pasadores que se emplean para mantener las losas unidas se calcula a través de la siguiente fórmula:

$$b = \frac{\pi \times d^2 \times f_s}{4 \times p \times u}$$

$$b = \frac{\pi \times (1.59 \text{ cm})^2 \times 1400 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{4 \times 5 \text{ cm} \times 29 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

Como la fórmula sólo considera la mitad de la longitud necesaria para pasadores, la longitud final de pasadores será:

$$\text{Longitud final de pasadores} = b \times 2$$

$$\text{Longitud final de pasadores} = 20 \text{ cm} \times 2$$

$$\text{Longitud final de pasadores} = 40 \text{ cm}$$

- Pasajuntas

El objetivo de las pasajuntas es transferir cargas de una losa a otra, permitiendo que las juntas puedan abrir y cerrar, pero manteniendo las losas a la misma altura.

Datos diseño para Pasajuntas

Tipo de varillas: Lisas

Diámetro de varillas: 5/8" (1.59 cm)

Carga de rueda: 6842.6 kg

Se calcula el radio de rigidez relativa entre losa y subrasante, a través de la fórmula:

$$I = \sqrt[4]{\frac{E \times h^3}{12 \times (1 - u^2) \times k}}$$

$$I = \sqrt[4]{\frac{281227 \frac{kg}{cm^2} \times (19 \text{ cm})^3}{12 \times (1 - 0.15^2) \times 5.25 \frac{kg}{cm^3}}}$$

$$I = 74.81 \text{ cm}$$

De la tabla 2.5 para las capacidades de transmisión de cargas en kg, se determina la capacidad de transmisión de carga para el pasajuntas de 5/8" y abertura de junta de 5 mm.

$$N^{\circ} \text{ de pasajuntas} = \frac{\text{Carga de rueda}}{\text{Capacidad de transmisión de carga de un pasajuntas}}$$

$$N^{\circ} \text{ de pasajuntas} = \frac{6842.6 \text{ kg}}{2500 \text{ kg}}$$

$$N^{\circ} \text{ de pasajuntas} = 3$$

Donde cuatro son las pasajuntas necesarias a distancias uniformes en la longitud 1.8 I.

Conociendo la rigidez relativa se procede al cálculo de separación de pasajuntas, a través de la fórmula indicada a continuación:

$$\text{Separación de pasajuntas} = \frac{1.8 \times I}{N^{\circ} \text{ de pasajuntas} - 1}$$

$$\text{Separación de pasajuntas} = \frac{1.8 \times 74.81 \text{ cm}}{3 - 1}$$

$$\text{Separación de pasajuntas} = 67.33 \text{ cm}$$

De acuerdo al Ing. Carlos Crespo Villalaz, el rango de separación máxima para pasajuntas es de 40 cm y la separación mínima de 30 cm.

Por tanto, la separación final de pasajuntas será:

$$l = 40 \text{ cm}$$

De la tabla 2.5 para las capacidades de transmisión de cargas en kg, se determina la longitud recomendada del pasajuntas para un diámetro de 5/8" y abertura de junta de 5 mm, siendo esta:

$$L = 37.5 \text{ cm}$$

Diseño de Pasadores y Pasajuntas para Piso Industrial Bodegas y Viñedos La Cabaña	
Pasadores	
Diámetro de varilla	1.59 cm
Separación de pasadores	45 cm
Longitud de pasadores	40 cm
Pasajuntas	
Diámetro de varilla	1.59 cm
Separación de pasajuntas	40 cm
Longitud de pasajuntas	37.5 cm

Tabla 4.14. Dimensión de Pasadores y Pasajuntas para
Piso Industrial Bodegas y Viñedos La Cabaña

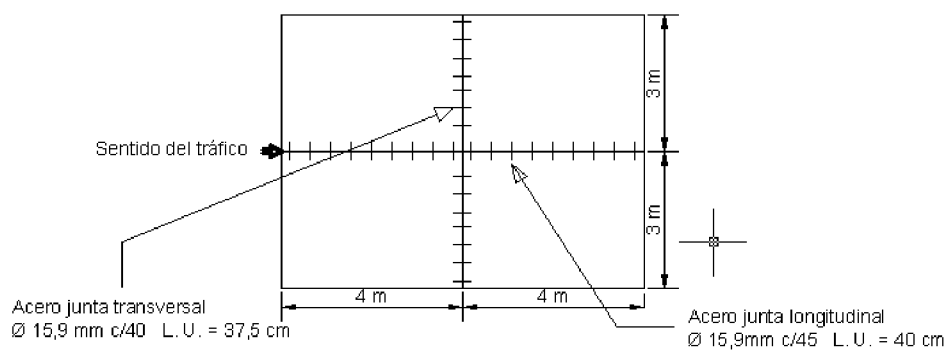


Figura 4.15. Disposición de pasadores y pasajuntas para piso industrial Bodegas y Viñedos
La Cabaña

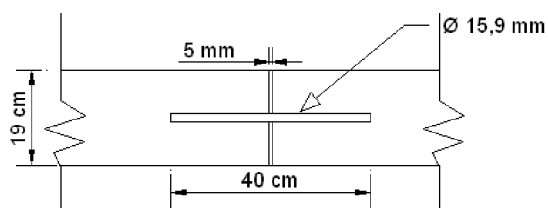


Figura 4.16. Sección transversal de junta con pasador para piso industrial Bodegas y
Viñedos La Cabaña

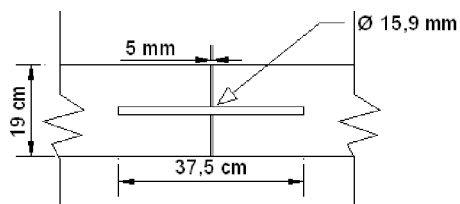


Figura 4.17. Sección transversal de junta con pasajuntas para piso industrial Bodegas y Viñedos La Cabaña

4.5.2.4. Hormigón para la Losa

La capa de rodadura del pavimento rígido se elabora de concreto, material conformado por una mezcla homogénea de cemento, agregados y agua.

El concreto utilizado para pavimentos debe ser de alta calidad y de adecuada durabilidad, debido a que las losas de concreto están sometidas tanto a esfuerzos de tensión como de compresión.

La dosificación correcta de un concreto consiste en determinar las proporciones de cemento, agua y agregados que produzcan de manera económica, mezclas de la consistencia deseada cuando se encuentran en estado plástico, y de la resistencia específica después de que las mezclas hayan endurecido.

Proporción Volumétrica	Tam. Máximo Pulg	Lt. De agua por Saco de cemento	Cemento en kg	Arena en m ³	Grava en m ³	Resist. a los 28 días kg/cm ²
1:1 ½ :1 ½	¾	22	532	0.527	0.527	288
	1 ½	21	526	0.521	0.521	303
1:1 ½ :2	¾	23	480	0.475	0.634	270
	1 ½	23	472	0.468	0.623	270
1:1 ½ :2½	¾	25	434	0.430	0.716	245
	1 ½	25	423	0.419	0.698	245
1:1 ½ :3	¾	26	400	0.396	0.792	230
	1 ½	26	390	0.386	0.773	230
1:2 :2	¾	28	418	0.552	0.552	205

	$1\frac{1}{2}$	27	412	0.544	0.544	217
1:2 :2 $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	29	388	0.512	0.640	195
	$1\frac{1}{2}$	29	381	0.503	0.629	195
1:2 :3	$\frac{3}{4}$	30	362	0.478	0.717	185
	$1\frac{1}{2}$	30	353	0.466	0.699	185
	3	28	350	0.462	0.693	205
	6	28	336	0.444	0.665	205
1:2 :3 $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	32	334	0.441	0.772	164
	$1\frac{1}{2}$	32	325	0.429	0.750	164
	3	30	325	0.429	0.751	185
	6	29	312	0.412	0.721	195
1:2 :4	$\frac{3}{4}$	34	313	0.413	0.827	147
	$1\frac{1}{2}$	34	305	0.403	0.805	147
	3	31	302	0.399	0.797	174
	6	30	291	0.384	0.768	185
1:2 :5	3	33	267	0.353	0.881	156
	6	32	256	0.339	0.844	164
1:2 $\frac{1}{2}$:2 $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	33	351	0.579	0.579	156
	$1\frac{1}{2}$	33	345	0.569	0.569	156
1:2 $\frac{1}{2}$:3	$\frac{3}{4}$	35	327	0.540	0.648	140
	$1\frac{1}{2}$	34	320	0.528	0.634	147
1:2 $\frac{1}{2}$:3 $\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	36	307	0.507	0.709	132
	$1\frac{1}{2}$	36	300	0.495	0.693	132
	3	34	297	0.490	0.686	147
	6	34	284	0.469	0.656	147
1:2 $\frac{1}{2}$:4	$\frac{3}{4}$	38	287	0.747	0.758	118
	$1\frac{1}{2}$	38	281	0.464	0.742	118
	3	36	278	0.459	0.734	132
	6	35	267	0.441	0.705	140
1:2 $\frac{1}{2}$:4 $\frac{1}{2}$	3	36	264	0.436	0.784	132
	6	36	252	0.416	0.748	132
1:2 $\frac{1}{2}$:5	3	38	249	0.411	0.822	118
	6	37	237	0.391	0.782	125
1:2 $\frac{1}{2}$:6	3	40	225	0.371	0.891	105
	6	39	214	0.353	0.848	111
1:3 :4	$\frac{3}{4}$	42	266	0.527	0.703	94

	1 ½	42	262	0.517	0.692	94
1:3 :4 ½	¾	44	252	0.499	0.749	84
	1 ½	43	247	0.489	0.734	89
	3	41	244	0.483	0.725	100
	6	41	234	0.463	0.695	100
1:3 :5	¾	46	240	0.470	0.792	76
	1 ½	45	234	0.464	0.772	80
	3	42	232	0.459	0.766	94
	6	42	223	0.442	0.736	94
1:3 :6	3	45	210	0.416	0.832	80
	6	44	200	0.396	0.792	84
1:3 :7	3	47	191	0.378	0.882	72
	6	46	183	0.362	0.846	76
1:4 :6	3	54	185	0.488	0.733	49
	6	54	177	0.467	0.701	49
1:4 :8	3	60	158	0.517	0.834	35
	6	59	149	0.393	0.787	37

Tabla 4.15. Cantidad de material necesario para un m³ y resistencia a los 28 días de distintas dosificaciones de concreto.

Fuente: Vías de Comunicación, Carlos Crespo Villalaz.

En el caso del Hormigón para la losa, la dosificación recomendada para ambos casos estudiados es la siguiente:

Para una resistencia de 210 kg/cm², con asentamiento de 2 a 4 cm y un tamaño máximo de agregado de 1 ½'', ingresando a la tabla 4.12, con una resistencia de 217 kg/cm² con dosificación 1:2:2, se establece que la cantidad de material para obtener esa dosificación es la siguiente:

Agua = 27 lt por saco de cemento

Cemento = 412 kg

Arena = 0.544 m³

Grava = 0.544 m³

4.5.3. Según Método AASTHO

a) Espesor de las losas para la Terminal de Entre Ríos.

- Serviciabilidad

La serviciabilidad, es la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios, además de servir al tránsito para el cual ha sido diseñado; de esta forma se tiene un índice de serviciabilidad inicial y otro final.

- Serviciabilidad Inicial (p_0)

La serviciabilidad inicial está referida al momento inmediato después de la construcción y dependerá de la calidad de ejecución y nivel de control durante la construcción del pavimento, es decir, a mayor calidad en la ejecución, mayor será la serviciabilidad.

La ASSTHO recomienda, que para pavimentos rígidos la serviciabilidad inicial debe ser igual $p_0 = 4.5$, valor que ha sido adoptado para el área en estudio.

- Serviciabilidad Final (p_t)

En el presente estudio, considerando la importancia de las vías estudiadas, se adopta un valor de $p_t = 2.5$.

- Módulo de Ruptura del Hormigón a los 28 días (S'_c)

Las dosificaciones de hormigón corresponden en forma aproximada a este valor.

$$S'_c = 625.86 \text{ psi}$$

- Módulo de Elasticidad (E_c)

En nuestro caso, es el siguiente:

$$E_c = 3.999.920,88 \text{ psi}$$

- Módulo de Reacción de la Subrasante (k)

El valor de este módulo obtenido es:

$$\text{Para CBR} = 7.0 \% \text{ a } K = 171.60 \text{ pci}$$

- Nivel de Confianza (R)

El valor de nivel de confianza es:

$$R = 80 \%$$

- Desviación Estándar Global (S_0)

La AASHTO recomienda un valor de 0.35. Por lo tanto el valor adoptado será de:

$$S_0 = 0.35$$

- Coeficiente de Transferencia de Carga (J)

Como una guía general para el rango de coeficientes de carga, se debe usar coeficientes mayores para valores bajos de K .

El factor adoptado es:

$$J = 3$$

- Coeficiente Global de Drenaje (C_d)

Las condiciones de la zona, indican un drenaje entre regular y bueno; por lo tanto, el coeficiente global de drenaje adoptado es:

$$C_d = 1.10$$

TPD de diseño = 26 veh

Crecimiento anual vehicular = 17.4 %

Vida útil = 30 años

Una vez definidos los valores de los distintos parámetros, ingresando los mismos en la ecuación general del método AASHTO, se obtiene el espesor de losa necesario.

$$W_{18} = TPD \times 365 \times (1 + i)^n$$

$$W_{18} = 26 \times 365 \times \left(1 + \frac{17.4}{100}\right)^{30}$$

$$W_{18} = 1.17 \text{ E } 6 \text{ kips}$$

Espesor de losa = 17 cm

- b) Espesor de las losas para las Bodegas y Viñedos La Cabaña.

- Serviciabilidad

La serviciabilidad, es la capacidad del pavimento para brindar un uso confortable y seguro a los usuarios, además de servir al tránsito para el cual ha sido diseñado; de esta forma se tiene un índice de serviciabilidad inicial y otro final.

- Serviciabilidad Inicial (p_0)

La serviciabilidad inicial está referida al momento inmediato después de la construcción y dependerá de la calidad de ejecución y nivel de control durante la construcción del pavimento, es decir, a mayor calidad en la ejecución, mayor será la serviciabilidad.

La ASSTHO recomienda, que para pavimentos rígidos la serviciabilidad inicial debe ser igual $p_0 = 4.5$, valor que ha sido adoptado para el área en estudio.

- Serviciabilidad Final (p_t)

En el presente estudio, considerando la importancia de las vías estudiadas, se adopta un valor de $p_t = 2.5$.

- Módulo de Ruptura del Hormigón a los 28 días (S'_c)

Las dosificaciones de hormigón corresponden en forma aproximada a este valor.

$$S'_c = 625.86 \text{ psi}$$

- Módulo de Elasticidad (E_c)

En nuestro caso, es el siguiente:

$$E_c = 3.999.920,88 \text{ psi}$$

- Módulo de Reacción de la Subrasante (k)

El valor de este módulo obtenido es:

$$\text{Para CBR} = 9.0 \% \text{ a } K = 189.66 \text{ pci}$$

- Nivel de Confianza (R)

El valor de nivel de confianza es:

$$R = 80 \%$$

- Desviación Estándar Global (S_0)

La AASHTO recomienda un valor de 0.35. Por lo tanto el valor adoptado será de:

$$S_0 = 0.35$$

- Coeficiente de Transferencia de Carga (J)

Como una guía general para el rango de coeficientes de carga, se debe usar coeficientes mayores para valores bajos de K.

El factor adoptado es:

$$J = 3$$

- Coeficiente Global de Drenaje (C_d)

Las condiciones de la zona, indican un drenaje excelente; por lo tanto, el coeficiente global de drenaje adoptado es:

$$C_d = 1.25$$

TPD de diseño = 2 veh

Crecimiento anual = 1.74 %

Vida útil = 30 años

$$W_{18} = TPD \times 365 \times (1+i)^n$$

$$W_{18} = 2 \times 365 \times \left(1 + \frac{17.4}{100}\right)^{30}$$

$$W_{18} = 8.98 \text{ E4 kips}$$

Espesor de losa = 13 cm

4.6. Valoración de Resultados

Después de realizar el dimensionamiento correspondiente tanto para el caso del pavimento del estacionamiento de la terminal de Buses de Entre Ríos como para el pavimento de las Bodegas de Kohlberg, ante los resultados obtenidos, hacemos una valoración técnica sobre los mismos:

- a) En el caso del pavimento del estacionamiento de la terminal de Buses de Entre Ríos los resultados obtenidos de dimensiones de la losa, espesor de la losa, diámetro, longitud y separación de pasadores y pasajuntas, muestran valores racionales, es decir, la dimensión de la losa de 3x4 m, es considerada una de las mejores dimensiones porque, por un lado, al no ser de dimensiones muy grandes elimina el riesgo de problemas de alabeo por variaciones térmicas y, por otro, como no son dimensiones tan pequeñas no encarece el costo del pavimento por la mayor cantidad de pasadores y pasajuntas; esas condiciones hacen que consideremos una dimensión de losa casi ideal. En cuanto al espesor de diseño de 18 cm consideramos que es un espesor razonable poco conservador, debido a que las cargas por el número de buses no es muy considerable; por lo tanto, para esas condiciones el espesor satisface las necesidades de carga. Finalmente, el dimensionamiento de los pasadores y pasajuntas cuyo diámetro es de 16 mm es razonable y cumplirá las funciones de transferencia de carga, la longitud de 37,5 y 40 cm y separación de 40 y 45 cm, son

valores que satisfacen las funciones a cumplir y tienen valores que no son antieconómicos además de ser trabajables.

- b) Para el caso del pavimento de las Bodegas de Kohlberg los resultados obtenidos de dimensiones de la losa, espesor de la losa, diámetro, longitud y separación de pasadores y pasajuntas, muestran valores racionales, es decir, la dimensión de la losa de 3x4 m, es considerada una de las mejores dimensiones porque, por un lado, al no ser de dimensiones muy grandes elimina el riesgo de problemas de alabeo por variaciones térmicas y, por otro, como no son dimensiones tan pequeñas no encarece el costo del pavimento por la mayor cantidad de pasadores y pasajuntas; esas condiciones hacen que consideremos una dimensión de losa casi ideal. En cuanto al espesor de diseño de 19 cm consideramos que es un espesor razonable poco conservador, debido a que las cargas límite dentro de la Bodega considerando el montacargas, las cargas estáticas y otras cargas; por lo tanto, para esas condiciones el espesor satisface las necesidades de carga. Finalmente, el dimensionamiento de los pasadores y pasajuntas cuyo diámetro es de 16 mm es razonable y cumplirá las funciones de transferencia de carga, la longitud de 37,5 y 40 cm y separación de 40 y 45 cm, son valores que satisfacen las funciones a cumplir y tienen valores que no son antieconómicos además de ser trabajables.
- c) Los espesores calculados por el método AASTHO nos arrojan valores racionales, debido a que las cargas de estacionamientos y pisos industriales han sido adecuadas al método; cabe resaltar que el método AASTHO es un método de diseño de espesores de pavimentos rígidos para carreteras, donde se observa que las distintas variables que son utilizadas están destinadas a éstas, mientras que el método de la PCA es un método de cálculo de pavimentos rígidos para estacionamientos y pisos industriales; por tal motivo los espesores de diseño a tomarse en cuenta en el pavimento rígido para estacionamientos y pisos industriales serán los calculados por el método PCA.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Las conclusiones son las siguientes:

- La situación actual boliviana en la construcción de estacionamientos y pisos industriales de pavimento rígido, muestra grandes deficiencias y una ausencia notable de conocimiento de los principios básicos de diseño; este problema, obliga a elegir las mejores alternativas de pavimentación. Para ello, el dimensionamiento de pavimentos rígidos a través del método PCA surge como la mejor opción de diseño, pues tiene como principio presentar una superficie durable, segura, sin grietas, permite un uso más eficiente del espacio y una mayor vida útil del pavimento.
- El pavimento rígido especial para estacionamientos y pisos industriales está constituido por un conjunto de capas superpuestas, compuestas por materiales seleccionados, las cuáles quedan comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyo comportamiento depende de la calidad y el tipo de los materiales, de su espesor, así como de la calidad de la construcción.
- Eventualmente, a la capa subbase se la denomina base, por su posición inmediatamente bajo la losa; sin embargo, se le designa como subbase debido a que en general los requerimientos de calidad de los materiales no son tan estrictos como los de una base.
- El pavimento rígido debe cumplir con dos premisas básicas: que cumpla con su función estructural, mantenerse estable con su capacidad de soporte, por lo menos durante la vida útil de diseño y que brinde un confort adecuado al usuario, garantizando que el pavimento tenga un diseño adecuado y una excelente construcción y mantenimiento.

- Las propiedades del concreto que para efectos del método de diseño de la PCA se mantienen fijas, teniendo poca influencia en el diseño del espesor de la losa son módulo de elasticidad $E = 281,227 \text{ kg/cm}^2$ y módulo de poisson $m = 0,15$.
- Los factores que se requieren para el diseño del espesor de losa a través del método de la Asociación del Cemento Portland son: módulo de reacción de la subrasante, resistencia del concreto, ubicación y frecuencia de cargas impuestas, magnitud de las cargas.
- La flexibilidad en el diseño tiene ventajas económicas al permitir áreas de menor espesor o el uso de concretos de menor resistencia; sin embargo, puede limitar el futuro uso del pavimento.
- El material estudiado esta conformado a la profundidad de subrasante. La clasificación del estrato de la Terminal de buses de Entre Ríos pertenece a arena limosa no expansiva, la clasificación del estrato de las Bodegas y Viñedos La Cabaña pertenece a arena bien graduada con grava no expansivo, siendo ambos estratos estables a los cambios de humedad y características de apoyo uniforme.
- En la medida en que el módulo de reacción k aumenta, el espesor necesario de la losa se reduce para iguales condiciones de tránsito y de resistencia de concreto, de manera que una mejoría en la calidad o resistencia de la capa subrasante se traduce en un ahorro en el espesor del concreto.
- El dimensionamiento realizado a través del método AASTHO, ha sido considerado sólo a manera de comparación numérica, no siendo parte del proceso de dimensionamiento del método PCA.

- El método PCA es el único método de dimensionamiento de pavimentos rígidos para estacionamientos y pisos industriales; por tanto, es el método que se considera como válido en la elaboración del presente proyecto.
- La dimensión de la losa de 3x4 m, es considerada una de las mejores dimensiones porque elimina el riesgo de problemas de alabeo por variaciones térmicas y no encarece el costo del pavimento por la mayor cantidad de pasadores y pasajuntas.
- El dimensionamiento efectuado al Estacionamiento de la Terminal de Buses de Entre Ríos, se realizó considerando un valor soporte CBR de 7% y el vehículo de transporte de mayor peso convirtiendo los ejes dobles a simples, obteniendo la altura de losa igual a 18 cm, espesor de losa capaz de soportar la carga impuesta por el vehículo, así como las repeticiones de cargas durante la vida útil del pavimento.
- El dimensionamiento efectuado al Piso Industrial de las Bodegas y Viñedos La Cabaña, se realizó considerando un valor soporte CBR de 9%, el vehículo de acarreo con capacidad de carga máxima y carga distribuida de los tanques de fermentación, obteniendo la altura de losa igual a 19 cm, espesor de losa capaz de soportar la carga impuesta por el vehículo y tanques de fermentación así como las repeticiones de cargas durante la vida útil del pavimento.
- El dimensionamiento de los pasadores y pasajuntas cuyo diámetro es de 16 mm es razonable y cumplirá las funciones de transferencia de carga, la longitud de 37,5 y 40 cm y separación de 40 y 45 cm, son valores que satisfacen las funciones a cumplir.

Recomendaciones

Las recomendaciones son las siguientes:

- Analizar los requerimientos de diseño y decidir con criterio racional si se necesita una capa de subbase o si se puede proponer alternativas menos costosas para satisfacer los requisitos de un buen comportamiento como controlar los cambios volumétricos de la subrasante, proporcionar una capa drenante, además de proporcionar una plataforma de trabajo más estable durante la construcción del pavimento.
- Analizar si la estructura de pavimento precisa del uso de pasajuntas y pasadores en las juntas, que va a depender del nivel de especificaciones, las expectativas del propietario, su utilización proporcionará importantes beneficios como la reducción de agrietamiento y transferencia de las cargas del tráfico.
- Se debe determinar la frecuencia y magnitud de las cargas vehiculares, que circularán por el pavimento, con precisión pues de ésta depende el adecuado funcionamiento del pavimento; esto debido a que si se sobre estiman se incurre en costos adicionales por un diseño innecesariamente mayor al realmente requerido, o se puede presentar el caso en que el tráfico proyectado, sea menor al real, con lo cuál se acorta la vida del pavimento.