



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. ANTECEDENTES

La dinámica de crecimiento y cambios de la ciudad de Tarija, gracias a su localización geográfica y características que le favorecen, las estrategias de desarrollo económico a la región colocan en un nivel importante, perfilándolo como una de las regiones principales del crecimiento industrial, se señala a esta parte de la región como la más adecuada para las industrias vitivinícolas y se inviertan recursos y capitales en este campo.

Dentro de este contexto, la infraestructura de la mayoría de las industrias son deficientemente diseñadas y construidas, o no son diseñadas, esto se convierte en un problema, tanto por lo que se refiere a su complejidad técnico constructiva y económica, los pisos de muchas industrias como en cualquier estructura de concreto, pueden presentar daños o deterioros (agrietamiento, asentamiento), que son debido a las cargas que soporta o a diversos factores relacionados con el suelo de base que sirve a las losas.

La construcción de pisos industriales requiere métodos y equipamiento especializado, que permita cumplir con exigentes tolerancias. Los procedimientos de colocación y terminación, y de diseño del hormigón y de su refuerzo, son componentes esenciales de este tipo de pisos. Las técnicas necesarias para la construcción de pisos industriales se hacen obligatorias en recintos con alta circulación de grúas, montacargas y/o carros de traslado de carga, se debe controlar el estricto cumplimiento de las especificaciones de diseño, en especial las relacionadas con su terminación superficial, con metodologías de control y los equipos necesarios para ejecutarlas.



## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Estos pisos de concreto, especialmente utilizado en instalación industrial, son elementos estructurales que requieren cuidadosos y detallados procesos de diseño y construcción. En todos los casos los criterios y requisitos van dirigidos a reducir al máximo las deformaciones, especialmente de acortamiento, lo que a su vez, contribuye a disminuir, entre otros factores el número y tamaño de grietas.

Así los agrietamientos importantes y desniveles entre tramos de piso separados por juntas, resulta evidente la razón de los daños que ocasiona un montacargas, sea de ruedas de hule o metal, al pasar sobre las juntas de un piso más bajo a otro tramo más alto. Este problema es frecuente en pisos industriales hechos con concretos a base de cementos portland ordinarios.

Una de las opciones tecnológicas disponibles para controlar las deformaciones y grietas en pisos son los concretos fabricados con cementos de contracción compensada. El concepto de este tipo de concreto se basa en que el concreto, como muchos otros materiales, se contrae durante el secado.

Así cuando el concreto ha endurecido y pierde por evaporación el agua remanente, se contrae, causando grietas si la retracción está restringida. Para contrarrestar esta contracción, los concretos de contracción compensada se expanden durante el periodo de curado, de modo que al contraerse por el secado, la deformación neta (es decir la diferencia entre la expansión y la contracción), sea casi igual a cero. La fricción que se genera en la cara inferior del piso en su contacto con la sub-base, ofrece resistencia a la deformación del piso en su plano, lo que induce fuerzas de compresión en el concreto y de tensión en el acero de refuerzo que se coloca en el piso. Sin embargo estas fuerzas irán cambiando sus valores conforme se seque el concreto, por lo general en pisos fabricados con este concretos de contracción compensada se emplean menores cantidades de refuerzo que en pisos de concreto de cemento ordinario. Asimismo, el diseño de la mezcla se hace de modo que el concreto, al final del secado, esté sujeto a una ligera compresión, con esto se busca disminuir la posibilidad de agrietamiento.



## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL**

Dimensionar el piso industrial de Bodegas y Viñedos "Casa Grande" mediante el método de P.C.A. (Portland Cement Association) y de esta manera desarrollar la metodología de aplicación en el piso de la industria, para dar seguridad, garantizar el buen funcionamiento de la infraestructura de la misma.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Éstos serían los más relevantes:

- ✓ Estudiar los aspectos técnicos más relevantes del diseño del piso industrial.
- ✓ Los tipos de carga que actúen sobre la losa del piso, los estudios necesarios y los factores de seguridad.
- ✓ Justificar los aspectos técnicas como económicas, que proporcionan la utilización del diseño de pisos industriales.
- ✓ Estudio de suelo, para garantizar la estabilidad y dar un buen funcionamiento de la losa.
- ✓ Determinación de la subrasante y material base, es muy importante para el dimensionamiento del piso de Bodegas Casa Grande
- ✓ El diseño y dimensionamiento del proyecto, se harán las resistencias del concreto, tomar un factor de seguridad y de junta en función a las cargas tipo se diseñara el espesor de la losa del piso.
- ✓ Análisis económico del proyecto, cálculos métricos, análisis de precios unitario, presupuesto general y las especificaciones técnicas.



## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

Daremos una recopilación de información tanto cuantitativa como cualitativa, con lo que se busca obtener un mejor entendimiento de las expectativas del empresario sobre el procedimiento constructivo, reduciendo el número de conflictos que puedan presentarse después de que el piso industrial que ha sido terminado.

La función primordial de la mayoría de los pisos de concreto es la de brindar un adecuado soporte a la aplicación de cargas, incluyendo carga, vehículos y otros, la tecnología de este piso reduce el costo sin sacrificar el funcionamiento del mismo.

En el desarrollo de este proyecto, presentaremos un procedimiento necesario para el diseño y especificación del proyecto de piso industrial.

## **1.5. METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

La metodología utilizada en el siguiente proyecto será las Normas de PCA para el diseño del espesor de la losa y del paquete estructural.

### **1.5.1. Método PCA**

#### **a) Formulación del método**

El método de diseño de la Portland Cement Association es exclusivamente un método de diseño desarrollado para pavimentos de concreto.

Teniendo como base el conocimiento de varias teorías de pavimentos como Westergaard, Picket and Ray así como de elementos finitos. También la experiencia en el comportamiento de varias pruebas e investigaciones como la Arlington Test y diversos proyectos de la misma PCA. Derivando del anterior se generó finalmente este método de diseño.

Parte del método fue desarrollado interpretando los resultados del modelo de elementos finitos basados en el comportamiento de una losa de espesor variable y dimensiones finitas



(180 x 144 pulgadas) a la cual se le aplicaron cargas al centro, de borde y de esquina, considerando diferentes condiciones de apoyo y soporte.

El método de diseño de la PCA considera dos criterios de evaluación en el procedimiento de diseño, el criterio de erosión de la sub-base 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 diferencia del método AASHTO el método de diseño PCA, consideró un valor fijo de módulo de elasticidad del Concreto ( $E_c$ ) = 4,000,000 psi que no lo hizo variar en relación con la resistencia a la flexión del concreto (MR), así como tampoco varió el coeficiente de poisson de 0.15.

Este método considera algunas limitaciones en los valores de módulo de reacción K del suelo, en donde el rango de valores para los que el método fue desarrollado oscila entre los 50 y 700 pci.

Una ventaja que se debe reconocer en el método del PCA es que toma el tráfico real que estima circulará sobre el pavimento, sin convertirlo Ejes Sencillos Equivalentes.

#### b) **Variables**

Las variables que intervienen en el diseño son:

- Espesor Inicial del Pavimento.
- Módulo de Reacción K del suelo.
- Carga.
- Transferencia de Carga y Soporte Lateral.
- Propiedades del Concreto.



- Módulo de Ruptura (Considera una reducción del 15% por seguridad).
- Módulo de Elasticidad Fijo = 4,000,000 psi.
- Módulo de Poisson Fijo = 0.15.

## **1.6. ALCANCE Y LIMITACIONES**

Se hará un estudio exhaustivo describiendo tipología de pisos industriales, eficiencia de la estructura, y entre los más importantes, las cargas que actuarán sobre el piso y el comportamiento del mismo a tales cargas y su factor de seguridad, también se harán todos los estudios necesarios para el diseño del mismo.

En el diseño y dimensionamiento del piso, se harán los cálculos de la resistencia del concreto a flexión, compresión y corte, se dará un factor de seguridad, también se determinan los diferentes cargas que actuarán sobre la losa, y lo más importante en base a los parámetros anteriores se diseña el espesor de la losa, esta losa deberá soportar las combinaciones de carga más desfavorables, la estructura de la losa deberá soportar sin sufrir ningún daño.

Como el diseño de pisos industriales buscan construir un piso con el mejor nivel de especificaciones y la mejor tecnología disponible. En las especificaciones técnicas del proyecto, se darán los materiales a utilizarse y la calidad en la construcción, como la colocación y acabado del concreto, construcción del piso, los materiales equipo y ejecución, para que de esta manera el Ingeniero encargado de la obra, cuando el crea necesario comprobare que los materiales en uso reúnan las condiciones de calidad exigidas o aprobadas, el ingeniero podrá inspeccionar y/o ensayarlos, en cualquier momento y lugar durante la recepción o preparación, almacenamiento y utilización.

El análisis económico del proyecto se elaborará conforme a los requisitos y condiciones técnicas establecidas en el presente proyecto. Presupuesto por ítem, análisis de precios unitarios y finalmente el presupuesto general.



El diseño final de piso industrial debe responder adecuadamente a las necesidades estructurales de proyecto, además de la determinación del espesor de las losas de concreto se definirá sus dimensiones superficiales. Para tal fin se deben seguir las recomendaciones para el diseño pisos industriales convencionales.

En general se debe concluir, que las estructuras de pisos industriales presentaran mayor durabilidad y menor costo de mantenimiento, por lo que representan una solución más económica a la larga para el cliente si se considera el costo de mantenimiento a mediano y largo plazo en comparación de costos con pavimentos tradicionales.

El uso del método permite construir pavimentos o pisos industriales para grandes cargas de trabajo, con menor cantidad de materiales, la disminución ostensible en el número de juntas de dilatación constituye una reducción en la patología de la estructura de pisos.



## CAPÍTULO II

### ESTADO DE CONOCIMIENTO DE PISOS INDUSTRIALES

#### 2.1. DEFINICIÓN DE PISOS INDUSTRIALES

##### 2.1.1. Pisos Industriales

Los pisos industriales son aquellos pisos interiores que estén sometidos a cualquiera de las siguientes aplicaciones de carga:

- Cargas móviles, (entre los que podemos citar vehículos pesados, montacargas y cualquier vehículo con ruedas en contacto con la superficie de la losa).
- Cargas puntuales, a través de los soportes de maquinarias o estructuras de almacenamiento, como racks o anaqueles.
- Cargas uniformemente distribuidas, aplicadas directamente sobre la superficie de la losa de concreto.

Los pisos de concreto, industriales, comerciales, deben ser diseñados y construidos sin olvidarnos de los aspectos económicos a los que van ligados. En términos de economía no se habla exclusivamente de construcción o inversión inicial, más bien incluyendo además los costos asociados con el mantenimiento y reparaciones necesarias en el piso.

##### 2.1.2. Criterios en el Comportamiento del Piso

El alcance del diseño, los tipos de materiales a emplear y la mano de obra necesaria dependerán en gran medida del poder anticipar las condiciones de servicio del piso, así como de conocer el criterio a emplear para medir el comportamiento del piso.





Antes de entregar una propuesta y con mayor razón antes de hacer un presupuesto, todas las partes involucradas (propietario, usuario, diseñador, contratista y subcontratista) deberá conocer y estar de acuerdo en las condiciones y criterios tomados para el diseño del piso.

Un buen piso de concreto desplantado sobre el suelo, es el resultado de diversos factores:

- ✓ Sensibilidad en la planeación.
- ✓ Diseño detallado y cuidadoso.
- ✓ Selección de los materiales adecuados.
- ✓ Especificaciones completas.
- ✓ Supervisión.
- ✓ Buena mano de obra.

Para definir responsabilidades de cada uno de los que participan en la elaboración del proyecto, en la etapa de anteproyecto y en las juntas previas a la construcción es necesario un entendimiento generalizado sobre, el uso del piso, de qué magnitud y qué tipo de cargas estará sometido el piso.

Todos estos factores son mencionados a detalle más adelante. La tecnología y detalles aplicados a pisos de todos los tamaños, abarca una gran variedad de usos. Desde pequeñas áreas de pisos en residencias o industrias ligeras, pisos de tamaño medio en almacenes a pesadas plantas industriales, que cubren grandes áreas, todos cuentan una tecnología similar.

## **2.2. RESEÑA HISTÓRICA Y EVOLUCIÓN DE LOS PISOS INDUSTRIALES**

Aunque desde fines del siglo XIX se usa el hormigón como material de construcción, el conocimiento de patologías como la corrosión del acero, la degradación del hormigón que lo protege debido a la carbonatación a la acción del asfalto, a las reacciones árido - álcalis o a la presencia de ácidos, por nombrar los más comunes, aun lo desconoce un alto porcentaje de profesionales del área a nivel mundial.



Esta situación se debe en gran medida a que el análisis de los defectos de la construcción no solo corresponde al ámbito de la ingeniería, construcción o arquitectura, sino que involucra otras aéreas de gran importancia como la química, geología, física y metalúrgica, entre otras.

Este desconocido carácter Interdisciplinario que tiene el estudio de las patologías del hormigón ha sido quizás la causa del retraso de la puesta en marcha de las distintas medidas de evaluación, mantenimiento, y desarrollo de medidas de protección a las distintas obras de hormigón armado en pisos industriales.

No cabe duda que la ingeniería de pavimentos se debate en la actualidad ante la imperiosa necesidad de mejorar los procedimientos de diseño, con el objetivo último de lograr mejores desempeños de esas estructuras que permitan una optimización de los costos de mantenimiento y rehabilitación y sobre todo, de los costos de operación de los usuarios de los pavimentos.

Por supuesto que al menos en nuestro continente americano, el impulso ha sido dado desde hace unos años por el llamado programa de investigación SHRP, por sus siglas en inglés del término Strategic Highway Research Program, auspiciado por la Agencia Federal de Carreteras de los Estados Unidos.

En particular, uno de los productos altamente utilizados es la guía del método PCA para diseño de pisos industriales, que estará apoyada en una serie de conceptos basados en los campos de la mecánica de materiales, incluyendo las teorías de elasticidad y viscoelasticidad, modelos de deterioro de estructuras de pavimentos, y herramientas informáticas avanzadas.

Las crecientes necesidades de desarrollo, la búsqueda de soluciones perdurables y la demanda de contar más y mejores pisos han contribuido para lograr que en la modernización se esté especificando el uso de pavimentos del concreto hidráulico bajo estándares internacionales de calidad como es el método de diseño de pisos industriales PCA.



Ante la globalización se hicieron más imperantes las necesidades de contar con una infraestructura que permita el desarrollo de la actividad económica y social del país, como se ha descrito en la información presentada anteriormente el crecimiento y evolución de los pavimentos de concreto hidráulico ha aumentado de una manera que resulta muy favorable para el país, por las ventajas que los mismos representan, esto ha propiciado que la demanda de caminos de excelente calidad haya ido en aumento. Estos son los pavimentos que aquí se presentarán y se les llamará simplemente, pisos de pavimentos de concreto.

El talón de Aquiles de los pisos de concreto, son las juntas que tienen que diseñarse y construir para controlar los cambios de volumen, inevitables, que se producen por cambios temperatura. Los pavimentos de refuerzo continuo y los presforzados, se diseñan y construyen sin juntas transversales de contracción y expansión, excepto al llegar a un cruce o a una estructura fija, sólo se construyen juntas de construcción, estos pisos son de tecnología muy avanzada.

Los pisos de concreto son muy adecuados para estacionamiento o plantas industriales, técnicamente, los pisos de concreto deben diseñarse y controlarse para una resistencia a la flexión del concreto usado.

El factor más importante en diseño de pisos de concreto es la resistencia del concreto utilizado, el concreto que aquí se considera deberá tener una resistencia del concreto utilizado.

Los pisos de concreto están formado exclusivamente por la losa del concreto, la cual puede colocarse directamente sobre la sub rasante (para poco tránsito o suelos buenos de la sub rasante) o sobre la sub base. La sub base tiende a corregir defectos del suelo sub rasante, siendo así un mejoramiento de esa capa.

### **2.3. TIPOLOGÍA DE PISOS INDUSTRIALES**

Estos algunos métodos más utilizados en diseño de pisos industriales:



## **2.3.1. MÉTODO AASHTO**

### **2.3.1.1. Diseño por método AASHTO**

#### **a. Prueba de piso de pavimentación AASHTO**

El método de diseño de espesores de pisos rígidos está basado en los resultados obtenidos de la prueba de carreteras concebida y promovida gracias a la organización que ahora conocemos como AASHTO para estudiar el comportamiento de estructuras de pisos de espesores conocidos, bajo cargas móviles y fijas de magnitudes y frecuencias conocidas y bajo el efecto del medio ambiente en lugares conocidas de pisos rígidos.

#### **b. Formulación del método de diseño**

El objetivo principal de las pruebas consiste en determinar relaciones significativas entre el comportamiento de varias secciones de piso y las cargas aplicadas sobre ellas, o bien para determinar las relaciones significativas entre un número de repeticiones de ejes con cargas, de diferente magnitud y disposición, y el comportamiento de diferente espesores de pavimentos, conformados con bases y sub-bases, colocados en suelos de características conocidas.

Las mediciones físicas de las secciones de prueba se transfirieron a fórmulas que podían dar nuevamente valores numéricos de capacidad de servicio. Estos valores graficados contra las aplicaciones de carga forman una historia de comportamiento para cada sección de prueba que permiten la evaluación de cada uno de los diversos diseños.

#### **c. Variables del método de diseño**

Las variables que intervienen en el diseño de los pisos constituyen en realidad la base del diseño del pisos por lo que es necesario conocer las consideraciones más importantes que tienen que ver con cada una de ellas para así poder realizar diseños confiables y óptimos al mismo tiempo.



## 2.3.2. MÉTODO PCA

### 2.3.2.1. Diseño por método PCA

#### a. Formulación del método

El método de diseño de la Portland Cement Association es exclusivamente un método de diseño desarrollado para pavimentos de concreto.

Teniendo como base el conocimiento de varias teorías de pavimentos como Westergaard, Pickett and Ray así como de elementos finitos. También la experiencia en el comportamiento de varias pruebas e investigaciones como la Arlington Test y diversos proyectos de la misma PCA. Y derivado de lo anterior se generó finalmente este método de diseño.

Parte del método fue desarrollado interpretando los resultados del modelo de elementos finitos basados en el comportamiento de una losa de espesor variable y dimensiones finitas (180 x 144 pulgadas) a la cual se le aplicaron cargas al centro, de borde y de esquina, considerando diferentes condiciones de apoyo y soporte.

El método de diseño de la PCA considera dos criterios de evaluación en el procedimiento de diseño, el criterio de erosión de la sub-base 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 diferencia del método AASHTO el método de diseño PCA, consideró un valor fijo de módulo de elasticidad del Concreto ( $E_c$ ) = 4'000,000 psi que no lo hizo variar en relación con la resistencia a la flexión del concreto (MR), así como tampoco varió el coeficiente de poisson de 0.15.



Este método considera algunas limitaciones en los valores de módulo de reacción K del suelo, en donde el rango de valores para los que el método fue desarrollado oscila entre los 50 y 700 pci.

Una ventaja que se debe reconocer en el método del PCA es que toma el tráfico real que estima circulará sobre el pavimento, sin convertirlo Ejes Sencillos Equivalentes.

### **2.3.3. Clasificación de Pisos del Instituto Americano del Concreto (ACI)**

Un piso de concreto desplantado en una base de tierra es un elemento constructivo común. Puede ser una simple losa de rodamiento, o tener un mayor grado de complejidad.

Con el objeto de clasificar los pisos de concreto de acuerdo principalmente a su uso o sistema constructivo, el Instituto Americano del Concreto (ACI) presenta la tabla 1.1-1 que describe las nueve clases genéricas de pisos de concreto.

Sin importar lo elemental o lo complejo a que se refiere el ámbito ingenieril, el método constructivo de los pisos de concreto es similar: se prepara el terreno de soporte y posteriormente el concreto es colocado. Desde luego, existen muchas consideraciones tales como el drenaje y el diseño en el espesor. La tabla 1.1-1 muestra algunas de las consideraciones especiales, así como las técnicas de acabado que son apropiadas para cada tipo de piso.

La losa base deberá tener una superficie rugosa y de poro abierto, además deberá estar libre de sustancias que pudieran impedir la adherencia entre la sobrelosa y la losa base.

La sobrelosa podrá aplicarse el mismo día (antes del fraguado de la losa base) o de aplicación diferida (después del fraguado de la losa).

Las sobrelosa de los pisos clase 3, utilizarán concretos similares a los utilizados en los pisos clase 1 ó 2.



- a) **En los pisos clase 7**, la sobrelosa generalmente requiere de un concreto de mayor resistencia que el utilizado en la losa base, además requiere de un múltiple allanado intenso.

Podrá además ser necesario utilizar en la sobrelosa, un endurecedor superficial mineral o metálico.

Las sobrelosa ligadas deberán tener un espesor de al menos 19 mm (3/4”).

Deberá coordinarse la separación de juntas en la sobrelosa, con el sistema de juntas en la losa base.

**b) Pisos planos y súper planos: Clase 9**

En algunos complejos, donde el manejo de los materiales requiere de características muy estrictas de nivelación y planicidad, es necesaria la construcción de pisos planos y/o súper planos.

Estos pisos podrán construirse en una capa; o en dos capas, ligadas (similar a los pisos clase 7) o no ligadas (similar a los pisos clase 8).

**c) Pisos especiales**

En esta categoría se incluyen los pisos con acabados decorativos, con requerimientos antiderrapantes, o con características especiales de conductividad eléctrica.

También los pisos expuestos a ácidos suaves, sulfatos y otros químicos necesitan de una preparación y una protección especial. Cuando el ataque químico sea severo, se deberá emplear una protección al desgaste adecuada al tipo de exposición.

En algunas plantas donde se procesan químicos o alimentos, tales como rastros, los pisos de concretos expuestos, estarán sujetos a un proceso lento de desintegración, debido al ataque de ácidos orgánicos. En muchos casos, puede ser preferible proteger al piso con otros materiales, tales como losetas resistentes a ácidos y/o resinas.



## **2.4. PROCESOS METODOLÓGICOS PARA EL DISEÑO DE PISOS INDUSTRIALES**

### **2.4.1. ANTECEDENTES**

El diseño de pavimentos se realizó según la "Guía para el Diseño de Estructuras de Pavimentos Especiales "P.C.A.", para lo cual se estudiaron los aspectos relacionados con las particularidades que tiene un pavimento especial como lo es un piso industrial de Bodegas Casa grande donde las cargas solicitantes son diferentes a los pavimentos rígidos de las de una carretera, siendo esa la razón por la que las consideraciones de parámetros de diseño son diferentes, en los cuales influyen los materiales a ser empleados en la construcción de la misma, los aspectos operativos, etc. Para finalmente determinar los distintos espesores de la capa sub base y 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.

El objetivo del diseño del piso es mantener 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, en casos normales los esfuerzos de flexión son la consideración del diseño crítico para la carga más pesada de la Bodega, mientras que para cargas distribuidas cubriendo áreas muy grandes de almacenamiento el esfuerzo a flexión debajo de la carga no es tan crítico como otras. Momentos negativos (esfuerzos por tensión en la parte superior de la losa) lejos de la carga pueden causar grietas 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.

El criterio y el procedimiento que se utilizaran para el diseño se presentan más adelante.



## 2.4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La nave industrial está ubicada en Santa Ana la nueva en la carretera a Bermejo a 4.79 Km desde la tranca a la Bodega "Casa Grande" de **25m** de ancha por **30m** de longitud, es decir, con una superficie total de 750 m<sup>2</sup> en esta área se construirá el piso.



**Figura 1.** Ubicación de la nave industrial de Bodegas Viñedos Casa grande

Fuente: Foto satelital extraído de Google.

## 2.4.3. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA EN CONSTRUCCIÓN.

El levantamiento topográfico se realizó en todo el área de influencia de las instalaciones de Bodegas Casa Grande, el levantamiento se lo hizo cada 1 m para tener un mayor detalle

de la superficie del suelo, el área de la instalación es de 25 x 35 m, se ubica en la parte seleccionada del grafico.

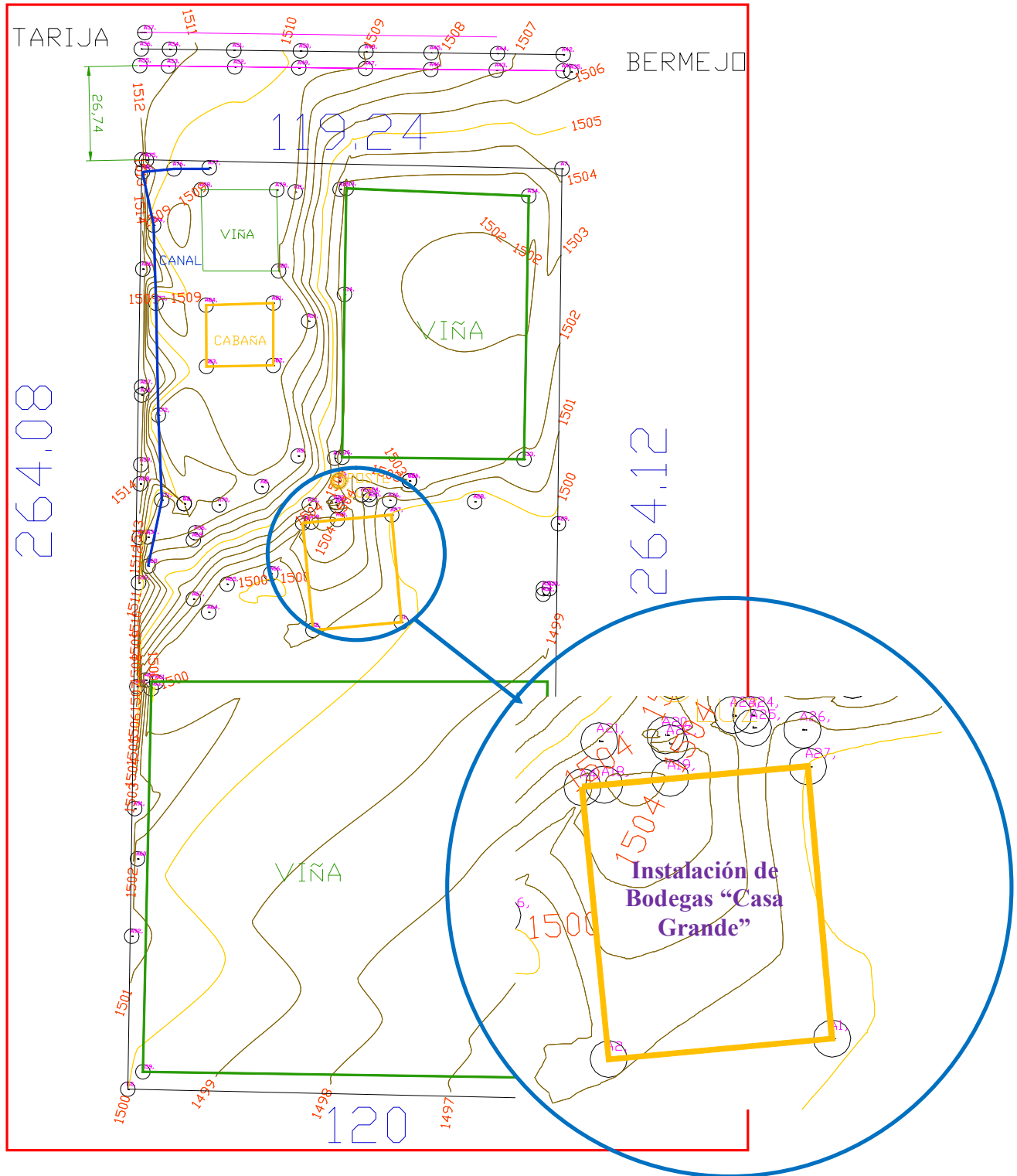


Figura 2. Levantamiento topográfico del área de construcción de la nave industrial de Bodegas y Viñedos Casa Grande.



#### **2.4.4. ESTUDIOS DE SUELOS**

El diseño de los pisos industriales de concreto, exige como para el caso de los pavimentos definir la calidad del suelo, sobre el que se va a construir dicho piso de manera más completa aún que la que tradicionalmente se hace para el caso del diseño de pavimentos, puesto que no basta definir únicamente la capacidad de soporte, sino que también es necesario evaluar el comportamiento del suelo bajo carga, ya que las cargas altas distribuidas pueden generar asentamientos o consolidaciones que hagan intransitable el piso, por lo anterior es necesario definir la compresibilidad del suelo en los diferentes estratos.

Para el diseño en sí del piso de concreto, el valor que se involucra es el del módulo de reacción de la subrasante, conocido como "k", debido a que con él se predicen razonablemente bien las deflexiones elásticas y los esfuerzos generados en las losas de concreto. Sin embargo, ese valor no da información sobre la compresibilidad del suelo, en cuanto a las condiciones generales del suelo es importante establecer la existencia o no, de condiciones de soporte razonablemente uniformes, para decidir si es necesario recurrir a la conformación de la subrasante, sometiéndola a un proceso de compactación, a su sustitución o bien a la colocación de un material de base.

Por último, es importante detectar la presencia de suelos capaces de cambiar su volumen cuando varían las condiciones de humedad, pues ellos generan heterogeneidad en el soporte, trayendo como consecuencia, la apertura de las juntas del piso y la pérdida del alineamiento horizontal, cuando el suelo incrementa su volumen por la absorción de agua, también se pueden presentar ondulaciones superficiales debido a la presencia de suelos expansivos con contenidos de humedad variables, o a las diferencias bruscas en las características de los suelos sensibles a los cambios volumétricos.



En el estudio de suelo para el piso industrial de la Bodegas y viñedos Casa Grande se realizó de la siguiente manera:

- 1.- Trabajos de campo.
  - 1.1.- Ubicación de las muestras.
  - 1.2.- Ensayos de penetración dinámica continúa
  - 1.3.- Selección de la muestras tres en total
  
- 2.- Ensayos de laboratorio.
  - 2.1.- Análisis granulométricos
  - 2.2.- Límites de Atterberg
  - 2.3.- Clasificación del suelo.
  - 2.4.- Compactación Modificado.
  - 2.5.- C.B.R.

## **2.5. PARÁMETROS DE DISEÑO PARA EL PISO.**

### **2.5.1. RESISTENCIA DEL CONCRETO**

La resistencia del concreto como material para la construcción de pisos, influye en el espesor de las losas y en las propiedades de la superficie.

#### **2.5.1.1. Resistencia a la flexión**

Las cargas generan, en los pisos de concreto, esfuerzos de compresión, de corte y de flexión, como consecuencia del alabeo a que se ven sometidas las losas. Puesto que la resistencia a la flexión del concreto es mucho más reducida que la resistencia a la compresión, el diseño de los pavimentos de concreto lo controlan los esfuerzos por flexión.

La resistencia a la flexión del concreto se determina con base en su módulo de rotura, utilizando para ello el ensayo de flexión de vigas con cargas en los tercios (Norma NTC 2871). Usualmente se escoge la resistencia a 28 días como la de diseño.

Lo más recomendable es usar el concreto con la resistencia más alta que se pueda obtener con los agregados disponibles, lo cual permite, reducir el espesor de las losas y obtener concretos más resistentes a la abrasión.

### 2.5.1.2. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del concreto  $f_c$  se evalúa con base en norma, y aunque este parámetro no aparece directamente en los procedimientos de diseño, es muy importante para el buen comportamiento del piso, ya que de ella dependen la resistencia a la abrasión y al ataque químico.

En cuanto al valor de la resistencia a la compresión, éste va desde 175 kgf/cm<sup>2</sup> para pisos sometidos a tránsito y cargas muy bajas, hasta los 350 kg/cm<sup>2</sup> para pisos resistentes al desgaste y cargas altas. El valor de la resistencia a la compresión no debe ser muy alto para evitar grandes contenidos de cemento y problemas de retracción, pero tampoco deben ser muy bajos para no comprometer la resistencia al desgaste del piso.

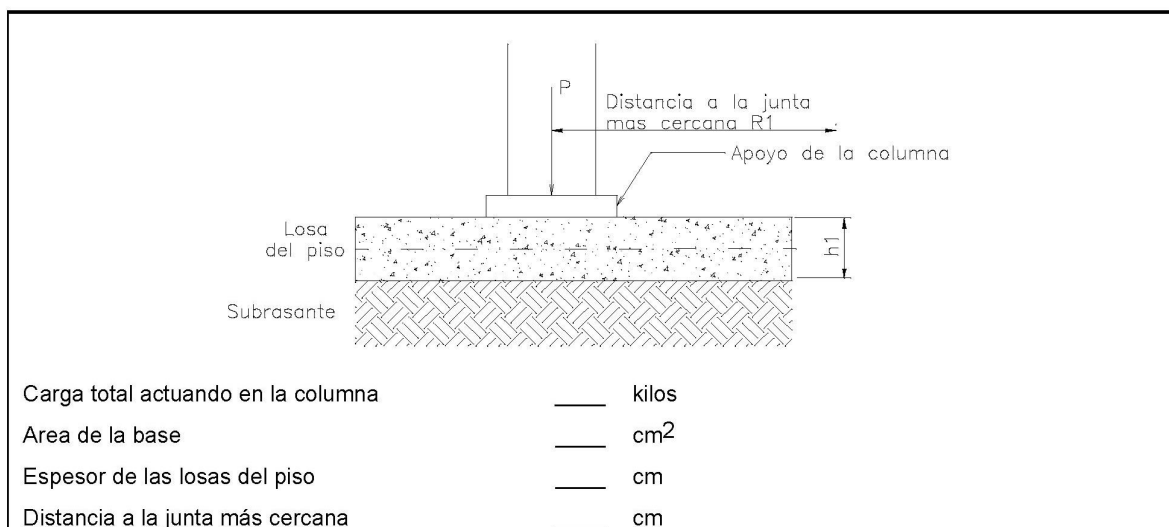


FIGURA 3. Información para el diseño de pisos para columnas de carga, (elaboración propia).

La calidad del concreto también la controlan los requisitos de durabilidad y de resistencia al desgaste bajo condiciones severas.

De todas maneras es bueno hacer un balance entre espesores, resistencias y costos para fijar el valor de la resistencia, tanto a compresión como a flexión.

Teniendo en cuenta lo dicho en los párrafos anteriores es importante mencionar que existe una buena correlación entre las resistencias a flexión y compresión y está dada por una expresión similar a la de la Ecuación 1, en la que A es una constante que depende de los materiales de cada zona y oscila entre 2,10 y 2,50.

$$M_r = A \sqrt{f_c} \quad \text{Ecuación 1}$$

En donde:

- Mr: Módulo de rotura, kgf/cm<sup>2</sup>.
- f<sub>c</sub>: Resistencia a la compresión, kgf/cm<sup>2</sup>.
- A: Constante que depende de los materiales.

El módulo de ruptura se mide mediante ensayos de vigas de concreto aplicándoles cargas en los tercios de su claro de apoyo. Esta prueba está normalizada por la ASTM C78. Existe una prueba similar con la aplicación de la carga al centro del claro que genera resultados diferentes de resistencia a la flexión (aproximadamente 15% a 20% mayores) pero que no son los que considera AASHTO para el diseño.

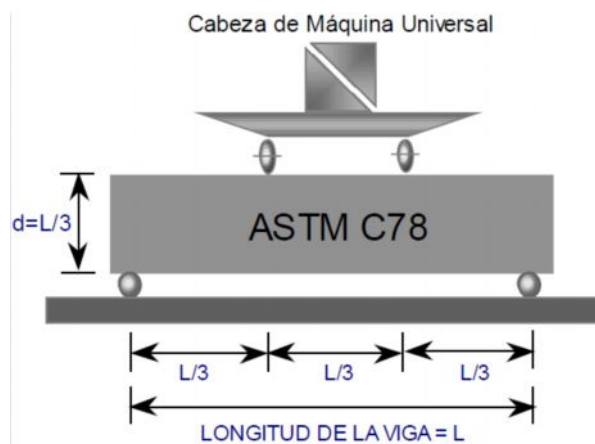


FIGURA 4. Ensayo de vigas de concreto aplicándoles carga a dos tercios de su claro de apoyo norma ASTM C78

Los valores recomendados para el Módulo de Ruptura varían desde los 41 kg/cm<sup>2</sup> (583 psi) hasta los 50 kg/cm<sup>2</sup> (711 psi) a 28 días dependiendo del uso que vayan a tener. En seguida





se muestran valores recomendados, sin embargo el diseñador deberá elegir de acuerdo a un buen criterio.

Tipo de Pavimento	MR recomendado	
	Kg/cm <sup>2</sup>	psi
Autopistas	48.0	682.7
Carreteras	48.0	682.7
Zonas Industriales	45.0	640.1
Urbanas Principales	45.0	640.1
Urbanas Secundarias	42.0	597.4

**Tabla 1.** Modulo de Ruptura en función de tipo de pavimento, recomendado por norma ASTM C78

Según las recomendaciones internacionales para el concreto a los 28 días y para pisos industriales será:

### 2.5.1.3. Resistencia al corte

La resistencia al corte raramente tiene significado en el diseño de los pisos. Sin embargo, el punzonamiento puede ser importante cuando se trata de pisos para estanterías o columnas de carga, especialmente cuando los apoyos de las primeras, o las bases de las segundas, son de dimensiones reducidas, o cuando los espesores de las losas son pequeños.

La verificación de la capacidad del piso para soportar los esfuerzos cortantes se hace de manera análoga a como se procede con las fundaciones de las columnas en el cálculo estructural convencional.

## 2.5.2. FACTOR DE SEGURIDAD

Se fijan factores de seguridad para proteger el piso contra: Incrementos eventuales en la magnitud o en la frecuencia de las cargas con el paso del tiempo, o para absorber las diferencias que se dan entre las características supuestas para el concreto por el diseñador y las que se logran en la obra.

En la ingeniería se manejan diferentes conceptos de factores de seguridad, algunos mayoran las cargas, vivas y muertas, otros reducen las características mecánicas de los materiales. En el diseño de pisos se trabaja normalmente con el último concepto.



### **2.5.2.1. Factor de seguridad para Montacargas.**

El valor para el factor de seguridad se fija siguiendo las siguientes recomendaciones:

- ✓ Se toma un valor de 2.2 cuando existe incertidumbre sobre las cargas o éstas son muy pesadas, para tránsitos con alta frecuencia y para áreas consideradas críticas, por la imposibilidad de repararlas.
- ✓ Se fija un valor de 1,7 para áreas importantes más no críticas, para tránsitos menos frecuentes que el del punto anterior o cuando se conocen bien los parámetros de diseño.
- ✓ Se asume un valor de 1,4 para áreas poco importantes, tránsito con frecuencia muy baja, cargas reducidas en su peso, o cuando no se prevé ningún impacto.

Se debe seleccionar el factor tomando en cuenta las condiciones más críticas de las cargas que actuaran en el piso, estimando que ese número de carga o magnitud variaran en incremento. Se adopta el valor de factor de seguridad, para cargas muy elevadas de:

### **2.5.2.2. Para Container y cargas puntuales**

Los factores de seguridad para esta clase de cargas los decide el ingeniero diseñador en función de la protección que se le quiera dar al piso como consecuencia de los inconvenientes económicos que pueda significar una falla en él. El factor de seguridad se puede fijar con base en la experiencia o con base en experimentación cuando no se tiene mayor información; en la literatura este valor oscila entre 2 y 5.

Algunos de los factores que se deben considerar en la selección del factor de seguridad son: Las cargas estáticas producen esfuerzos mayores que las cargas dinámicas de la misma magnitud y los efectos de la fluencia reducen los esfuerzos bajo carga estática. Sin embargo, aún no es posible cuantificar esos efectos para considerarlos en el diseño, esta es la razón por la cual se recomienda que los factores de seguridad se incrementen cuando lo hacen las cargas.





Adicionalmente, si el espaciamiento de los apoyos de las estanterías no están modulados con las juntas del pavimento es posible que algunos de ellos queden cerca a las esquinas o a los bordes de las losas produciendo incrementos en los esfuerzos de hasta el 50% respecto a los obtenidos este valor oscila entre 2 y 5 para cargas en el interior de las losas.

Se debe seleccionar el factor tomando en cuenta las condiciones más críticas de las cargas que actuaran en el piso industrial.

### **2.5.3. FACTOR DE JUNTA**

Debido a que el esfuerzo por deflexión es 50%-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 que no esté garantizado una transferencia de carga como es el caso de los pisos industriales, aunque las juntas estén en la parte interna o en la periferia de la losa. El aumentar los esfuerzos por deflexión en los bordes dentro de los límites seguros.

Para el diseño basado en cargas en el interior de la losa el factor de junta a emplear será de 1.0, sin embargo, dada la geometría de las losas y la forma de los contenedores, Montacargas y otro tipo de cargas que actuaran más frecuentemente cruzando juntas sin sistemas 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 está relativamente en el límite mayor, es decir, de 4.5-5.0 metros.

### **2.5.4. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS TIPO**

La determinación de las solicitaciones de las cargas, que son un factor importante en el diseño de pavimentos, incluye la definición de la magnitud y forma de las cargas, la configuración de las ruedas y la frecuencia de cargas que puedan utilizar el pavimento. Los vehículos que circulan por los pisos de una bodega pueden provenir de distintos orígenes,



incluyen los vehículos para el manejo de las mercancías y los de carga, además de los de mantenimiento de bodega.

#### **2.5.4.1. Montacargas**

Para el manejo de las cargas en la industria y en los patios de almacenamiento se utilizan los vehículos llamados "montacargas", los cuales tienen llantas, neumáticas o sólidas, en este caso neumáticas con áreas de contacto reducidas, y a las elevadas presiones de inflado, y por ende de contacto, generan esfuerzos grandes en las losas.

En ausencia de información detallada se puede suponer para el diseño el eje más cercano al sistema de elevación de las cargas absorbe el 95% del peso total (vehículo más carga externa) y se desprecia el efecto del otro eje.

Los montacargas pueden mover cargas de diferentes magnitudes, desde unos cuantos kilos hasta 25 ó más toneladas.

#### **2.5.4.2. CONTAINERS O RACKS**

En muchas industrias y bodegas, las mercancías se manejan en estanterías que pueden generar cargas muy altas en los apoyos de sus columnas.

La información necesaria para el diseño de los pisos sometidos a este tipo de solicitaciones es, ante todo, la magnitud de las cargas actuantes sobre los apoyos de las columnas de la estantería; pero es importante, además, determinar el tamaño de los apoyos y el espaciamiento de ellos en ambas direcciones.

#### **2.5.4.3. COLUMNAS DE ESTANTERÍAS**

El término columnas de carga se diferencia del de las columnas de las estanterías en que las cargas que soportan son mucho más altas, y que el espaciamiento entre ellas es significativamente más grande que la separación entre las columnas de las estanterías. Cada columna de carga se puede considerar como una carga concentrada actuando sobre el piso, actuando independientemente de las demás.

Si se trata de una construcción nueva es posible que la columna tenga una cimentación aislada que no hace parte del diseño del piso, sino del diseño de la estructura misma.

Sin embargo, es posible que se rehabilite una bodega existente o se de un cambio en el diseño original y el piso trabaje como soporte de una columna de carga. En este caso, el diseñador del piso debe considerar las cargas, vivas y muertas, que actuarán sobre la columna; como también lo referente al tamaño de las base y a la localización de la columna con respecto a las juntas del piso más cercanas.

### 2.5.5. MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUB-RASANTE

La resistencia de la sub-rasante es considerada dentro del método por medio del Módulo de Reacción del Suelo K que se puede obtener directamente mediante la prueba de placa.

El módulo de reacción de suelo corresponde a la capacidad portante que tiene el terreno natural en donde soportará el cuerpo del pavimento. El valor del módulo de reacción (K) se puede obtener directamente del terreno mediante la prueba de placa ASTM D1195 y D1196. El valor de K representa el soporte (terreno natural y terraplén si lo hay) y se puede incrementar al tomar la contribución de la sub-base.

Cuando se diseña un pavimento es probable que se tengan diferentes valores de K a lo largo del tramo por diseñar, el método AASHTO recomienda utilizar el valor promedio de los módulos K para el diseño estructural.

#### Esquema de la prueba de placa

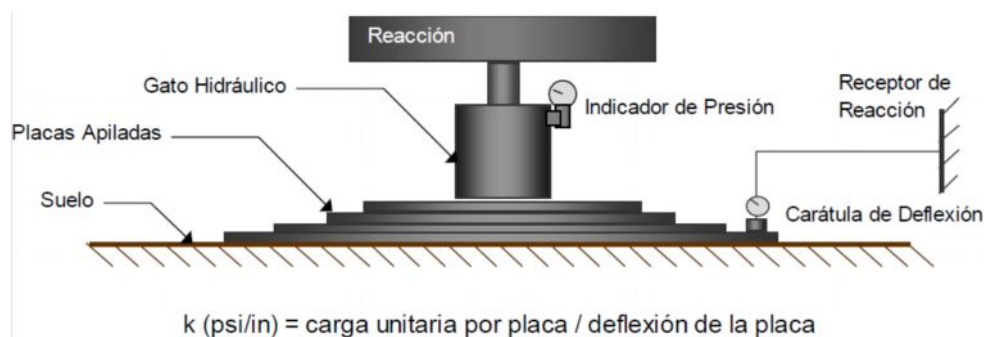


Figura 5. Prueba de Placa para determinar el modulo de reacción de la sub rasante K norma ASTM D1195 y D1196



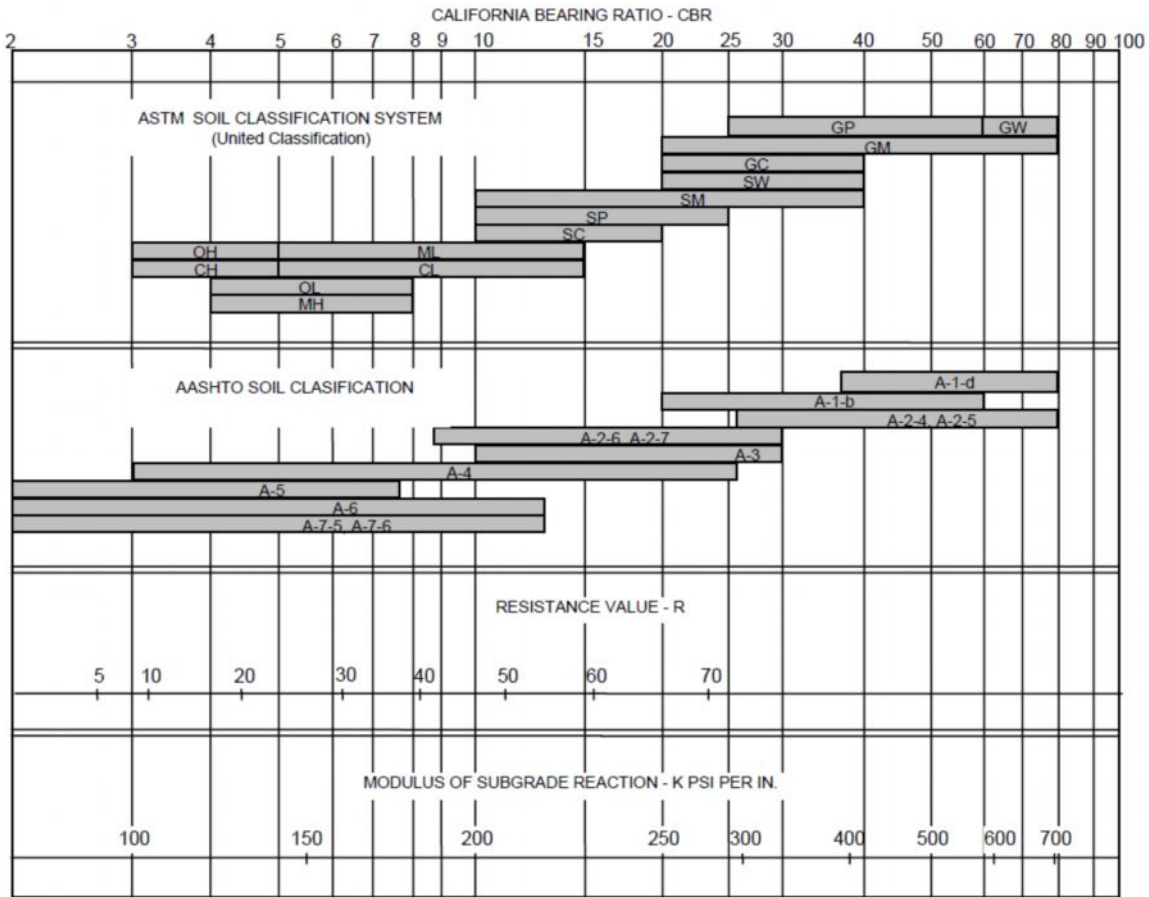
Como la prueba de placa es una forma muy cara de determinar K, algunos autores han desarrollado valores estimativos donde están en función del CBR% y clasificación de suelos:

Estimaciones y Correlaciones de K, en base a un gran número de muestras y estudios se han podido desarrollar algunos valores estimativos del módulo de reacción del suelo en función a diferentes propiedades. Diferentes autores han publicado sus resultados y en general no difieren notablemente.

Tipo de Suelo	SUCS	Densidad Seca	CRB	K *
		lb/ft <sup>3</sup>	%	pci
<b>Suelos Granulares</b>				
Grava	GW, GP	125 a 140	60 a 80	300 a 450
		120 a 130	35 a 60	300 a 400
Arena Gruesa	SW	110 a 130	20 a 40	200 a 400
Arena Fina	SP	105 a 120	15 a 25	150 a 300
<b>Suelos de Material Granular con Alto Contenido de Finos</b>				
Grava - Limosa	GM	130 a 145	40 a 80	300 a 500
Grava - Areno - Limosa				
Arena - Limosa	SM	120 a 135	20 a 40	300 a 400
Arena - Limo - Gravosa				
Grava - Arcillosa	GC	120 a 140	20 a 40	200 a 450
Grava - Areno - Arcillosa				
Arena - Arcillosa	SC	105 a 130	10 a 20	150 a 350
<b>Suelos de Material Fino **</b>				
Limo	ML, OL	90 a 105	4 a 8	25 a 165
Limo - Arenoso		100 a 125	5 a 15	40 a 220
Limo - Gravoso				
Limo Mal Graduado	MH	80 a 100	4 a 8	25 a 190
Arcilla Plástica	CL	100 a 125	5 a 15	25 a 255
Arcila Medianamente Plástica	CL, OL	95 a 125	4 a 15	25 a 215
Arcilla Altamente Plástica	CH, OH	80 a 110	3 a 5	40 a 220

**Tabla 2.** Estimación y correlaciones de K, en base a los estudios de norma SUCS

La determinación del módulo de reacción de la sub rasante K norma ASTM D1195 y D1196, determinó esta tabla, están en función del CBR% (Valor Soporte) y el tipo de suelo clasificado se puede determinar el Módulo de reacción de la subrasante (k) como se muestra.



**FIGURA 6.** Relación aproximada entre las clasificaciones de suelo, valor soporte CBR y los valores de resistencia, para determinar el modulo de reacción de la sub rasante K, elaborada por la norma ASTM D1195

La Norma AASHTO T222-78 ha considerado algunas fórmulas logarítmicas en función del porcentaje del CBR% para la determinación del módulo de reacción de la sub rasante (k)  
 CBR = 8.2%

$$K = 0.4371 + 2.2171 \cdot \ln(CBR) \left[ \frac{Kg}{cm^3} \right] \quad CBR < 18\%$$

Otras fórmulas también fueron determinados de la siguiente manera:

Si se conoce el CBR del suelo de sub-base, el Manual recomienda usar la siguiente relación para determinar el “Módulo de Reacción de la Sub-base”:

$$K = 2.55 + 52.5 \cdot \log(CBR) \left[ \frac{MPa}{m} \right] \quad CBR < 10 > 10$$

$$K = 0.25 \cdot \log(CBR) \left[ \frac{Kg}{cm^3} \right] \quad CBR < 10\%$$

$$K = 4.51 \cdot \log(CBR) \left[ \frac{Kg}{cm^3} \right] \quad CBR > 10\%$$

$$K = 69.78 \cdot \log(CBR) - 10.16 \left[ \frac{Kg}{cm^3} \right]$$



### 2.5.6. ESFUERZO DE TRABAJO DEL CONCRETO.

En función de los valores determinados se calcula el esfuerzo de trabajo al que estará sometida la losa del estacionamiento:

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

*WS: Esfuerzo de trabajo del concreto*  
*MR: Resistencia a flexión*  
*FS: Factor de seguridad*  
*FJ: Factor de junta*

### 2.5.7. ESFUERZO EN LA LOSA POR CARGA EN EL EJE.

Esfuerzos en losa por cada 1000 lb de carga en el eje es la siguiente:

$$WC = \frac{WS}{Carga}$$

*WC: Esfuerzo en la losa por carga en el eje*  
*WS: Esfuerzo de trabajo del concreto*

### 2.5.8. DISEÑO DEL ESPESOR DE LA LOSA

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 superficial 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 sobre el terreno está bien establecido y aceptado a



nivel mundial. Las gráficas mostradas en el presente capítulo ofrecen una manera rápida de determinar el espesor adecuado para ciertas condiciones de carga.

Las losas de concreto simple (sin acero de refuerzo) ofrecen ventaja de económica y de facilidad de construcción. Reconociendo la similitud obvia y las diferencias entre un pavimento sin acero de refuerzo y una losa de concreto simple, la teoría de método de diseño de pavimentos fue reducida para utilizar tablas de diseño para losas de concreto simple. Este método de diseño es aplicable tanto para losas de almacenamiento a la intemperie o en el interior de las naves.

Al igual que en el método de diseño de pavimentos exteriores de la Asociación del Cemento Portland (PCA), los factores que se requieren para el diseño del espesor de losa incluyen:

- \* Capacidad portante de la subrasante y la sub-base.
- \* Resistencia del concreto.
- \* 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  $m = 0.15$

#### **2.5.8.1. MONTACARGAS**

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 en específico. Por consiguiente, dos gráficas de diseño, figuras 7 y 8, 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 6 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 (1kips=1000 lb). El factor de seguridad es obtenido por consideraciones de la relación de esfuerzos y las repeticiones de cargas, como provee la tabla 3

Para el caso de ejes dual, es decir, ejes equipados con doble llanta, las figuras 7 y 8 son usadas para determinar el espesor de la losa del piso. Primero, se usa la figura 7 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 7 para determinar los esfuerzos de flexión en la losa.

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.** Relaciones de esfuerzo contra repeticiones de carga permitidas.

Fuente: "Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements", Portland Cement Association, 1984.





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 8 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 discutidos más adelante).

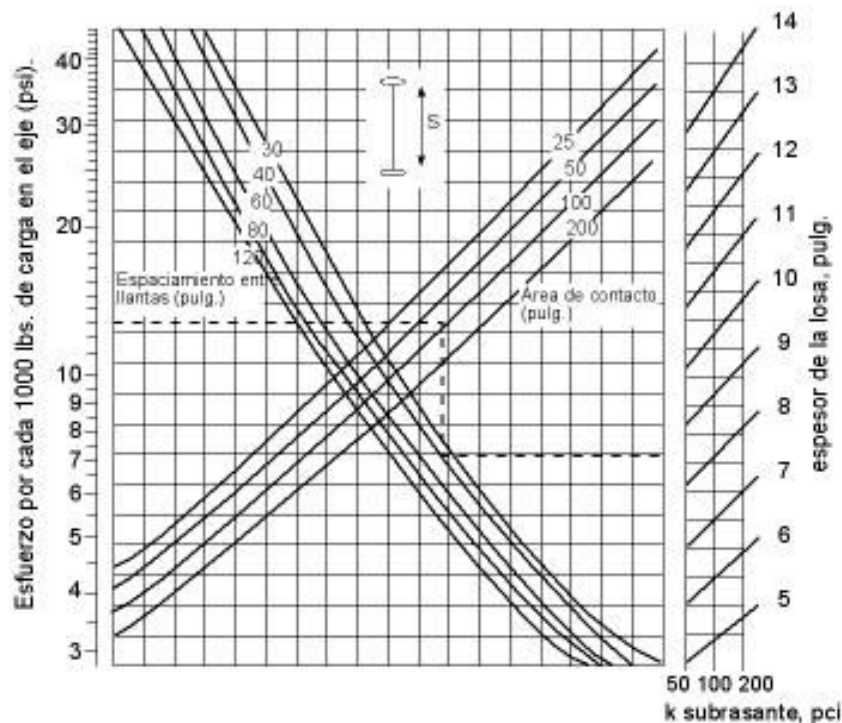
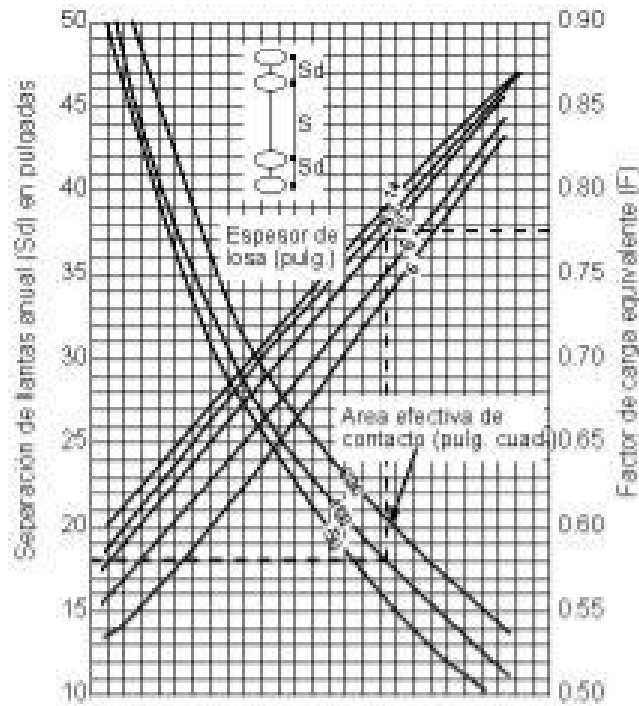


Figura 7. Gráfica de diseño para ejes sencillos.

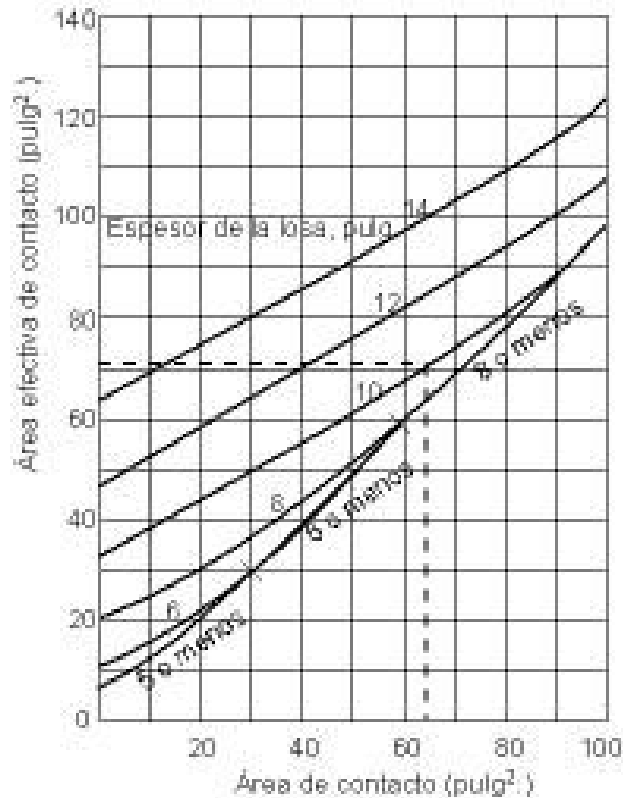
Fuente: Portland Cement Association PCA.

En el uso de la figura 8 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.



**Figura 8.** Grafica de diseño para ejes duales



**Figura 9.** Área efectiva de contacto en función del espesor de la losa.



### **2.5.8.2. PARA CONTENEDORES O 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 de 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.

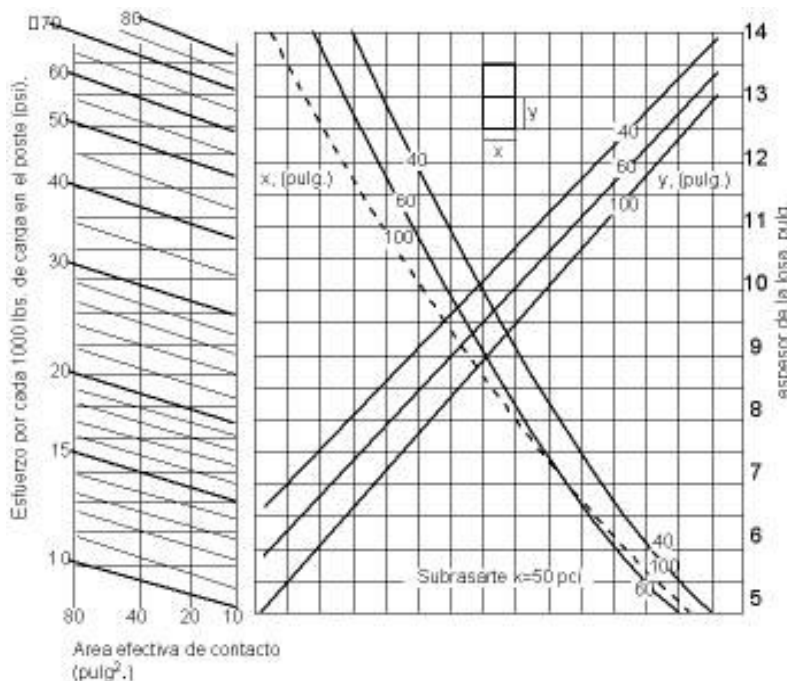
- \* Área de contacto de la carga.
- \* Espaciamiento entre postes.
- \* Resistencia de la subrasante.
- \* Resistencia a la flexión del concreto, MR.
- \* Factor de seguridad.



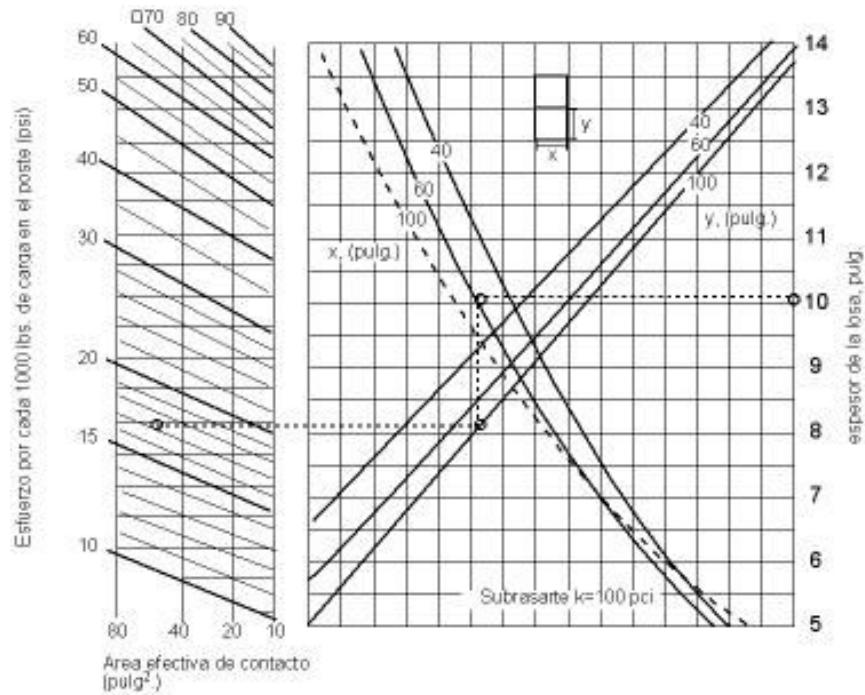
**Figura 10.** Aplicación de carga en postes de racks.  
Fuente: foto de la bodega (propia)

Las figuras 11, 12, y 13 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 las dos configuraciones equivalentes de postes y condiciones de carga representadas.

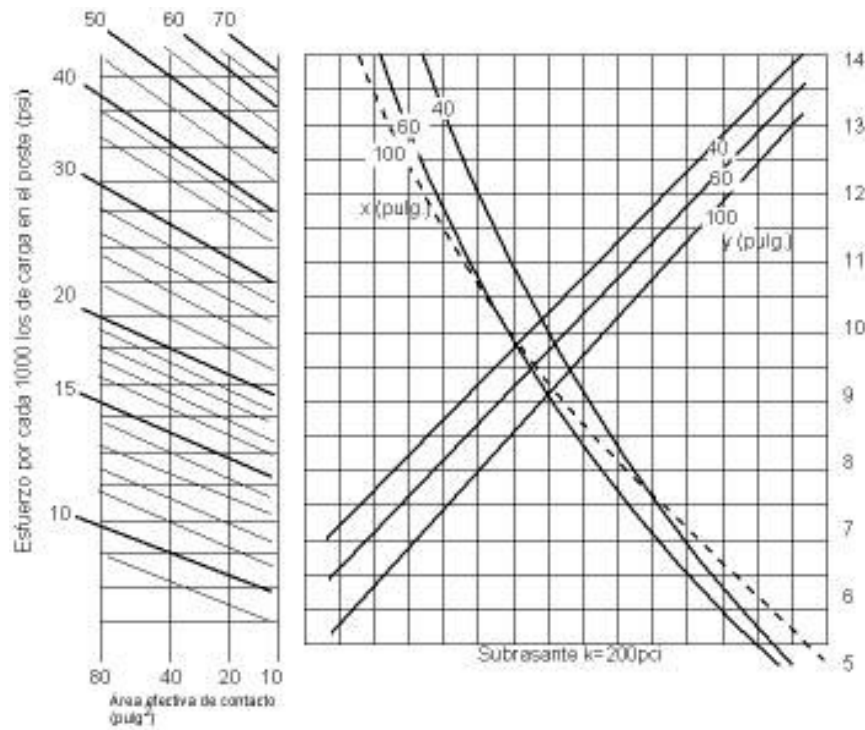
La condición de carga en el borde presenta esfuerzos mayores en los pisos, que pueden significar mayor cantidad de agrietamiento. Una manera de tratar con esfuerzos mayores es modificando el esfuerzo de trabajo mediante el factor de junta antes de entrar a la figura 9



**Figura 11.** Gráfica de diseño para cargas en poste, con subrasante de módulo de reacción  $k = 50$  pci



**Figura 12.** Gráfica de diseño para cargas en poste, con subrasante de módulo de reacción  $k = 100$  pci.



**Figura 13.** Gráfica de diseño para cargas en poste, con subrasante de módulo de reacción  $k = 200$  pci.



En la figuras 9, 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 espaciamientos de 40 a 100 pulgadas y los espaciamientos 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 puede asumirse que actúen como uno equivalente a la suma de sus cargas combinadas.

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

#### **2.5.8.2.1. Capacidad de Carga.**

El siguiente paso es la revisión por capacidad de carga, comprobando que el esfuerzo de carga actuante y el esfuerzo cortante se encuentren dentro de los límites aceptables.

##### **a. Revisión por capacidad de carga.**

- **Capacidad de carga Permisible.**

De 4.2 veces el módulo de ruptura a los 28 días para la carga interior

$$W_{\text{permisible}} = 4.2 \cdot MR$$

De 2.1 veces (la mitad que la aplicable para carga interior) el modulo de ruptura a los 28 días para cargas de borde o esquina.

$$W_{\text{permisible}} = 2.1 \cdot MR$$

- **Esfuerzos de carga actuante.**

Es (Cargas por poste / área de contacto):

Carga por poste o columna=28659,8[lb]

Área de contacto=90 [Plg<sup>2</sup>]



Esta carga actuante debe ser menor que la carga admisible:

**b. Revisión por esfuerzos cortantes:**

- **Esfuerzo Cortante Permissible.**

$$\sigma_{\text{permissible}} = 0.27 \cdot MR$$

- **Esfuerzo Cortante Actuante.**

Para cargas interiores:

Espesor de losa (e) [Plg]

Perímetro (P) [Plg]

$$\sigma_{\text{actuante}} = \frac{\text{Carga en columna}}{e \cdot (P + 4 \cdot e)}$$

Para cargas en borde:

$$\sigma_{\text{actuante}} = \frac{\text{Carga en columna}}{e \cdot (0.75 \cdot P + 2 \cdot e)}$$

Para cargas en las esquinas:

$$\sigma_{\text{actuante}} = \frac{\text{Carga en columna}}{e \cdot (0.5 \cdot P + e)}$$

Los esfuerzos de cortantes calculados para las esquinas, bordes e interiores son significativamente más bajos que el esfuerzo cortante permisible del concreto.

### 2.5.9. DISEÑO DE JUNTAS Y PASAJUNTAS

La transferencia de carga es la capacidad que tiene una losa del pavimento de transmitir fuerzas cortantes con sus losas adyacentes, con el objeto de minimizar las deformaciones y los esfuerzos en la estructura del pavimento, mientras mejor sea la transferencia de cargas mejor será el comportamiento de las losas del pavimento.



El método AASHTO considera la transferencia de cargas mediante el factor de transferencia de cargas  $J$ , la efectividad de la Transferencia de Carga entre losas adyacentes depende de varios factores:

- \* Cantidad de Carga aplicada en losas
- \* Utilización de Pasa juntas
- \* Soporte Lateral de las Losas

Una manera de transferir la carga de una losa a otra es mediante la trabazón de agregados que se genera en la grieta debajo del corte de la junta, sin embargo esta forma de transferir carga solamente se recomienda para vías con tráfico ligero.

La utilización de pasa juntas es la manera más conveniente de lograr la efectividad en la transferencia de cargas, los investigadores recomiendan evaluar dos criterios para determinar la conveniencia de utilizar pasa juntas. Utilizar pasa juntas cuando:

- a) El tráfico pesado sea mayor al 25% del tráfico total.
- b) El número de Ejes Equivalentes de diseño sea mayor de 5.0 millones de Esal's.

El Coeficiente de Transferencia de Carga considera el esfuerzo de transferencia a través de la junta o grieta.

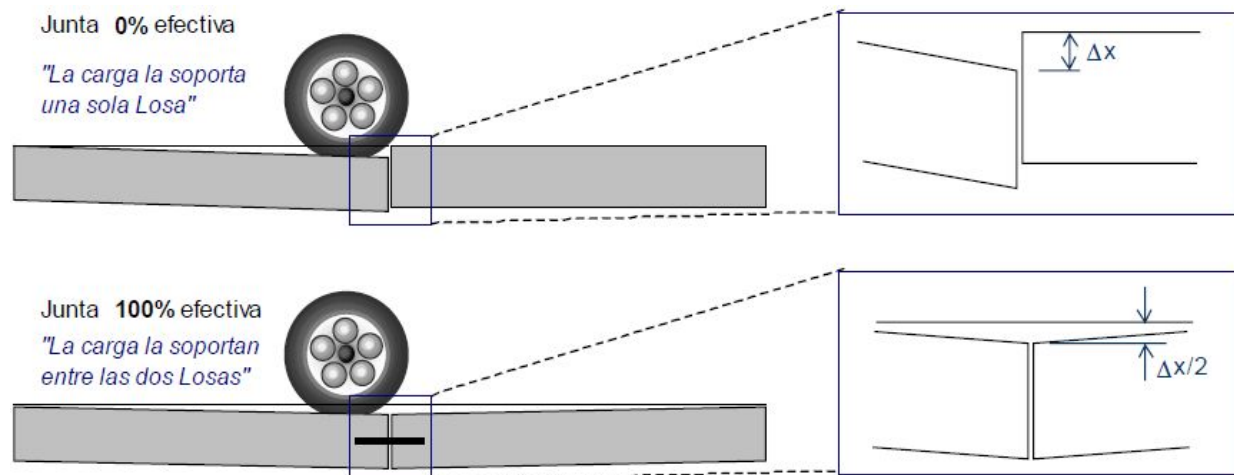


Figura 14. Comportamiento de la juntas según su efectividad,

Fuente: Elaboración Propia





### 2.5.9.1. Junta Transversal de Contracción

Las juntas transversales de contracción principalmente controlan el agrietamiento natural de los pavimentos de concreto. Su espaciamiento, profundidad del corte y el tiempo en que se deba realizar son factores críticos para el comportamiento de las juntas, por lo que un adecuado diseño especificará el intervalo de juntas que va a controlar las grietas y proveer una adecuada transferencia de carga entre las juntas.

#### 2.5.9.1.1. Espaciamiento.

Los montacargas más frecuentes que se utilizaran en el piso industrial de las Bodegas Casa Grande serán de eje sencillo, tienen una carga en el eje más cargado de:

$$S_{JT} = (20 \text{ a } 24) \cdot D$$

SJT: Separación de Juntas transversales (mts)

D: Espesor de la Losa en (mts)

$$S_{JT} \leq 5 \text{ mts}$$

Normalmente se utiliza el 20 cuando tenemos mayor fricción entre la sub-base y el pavimento de concreto, como en los casos en donde tenemos bases estabilizadas, bases con textura muy cerrada o whitetopping.

El valor de 24 se utiliza cuando la fricción entre la sub-base y el pavimento corresponde valores normales, como en el caso de sub-bases granulares.

La separación de juntas transversales que arroja esta fórmula no debe ser mayor de 5.0 m, en tal caso deberá limitarse a este valor de 5.0 m.

La otra forma de obtener la separación de juntas es por radio de rigidez relativa. Las tensiones en los pavimentos aumentan con un valor mayor del módulo de reacción de la base/sub-rasante (k). Para bases estabilizadas de alta resistencia, el espaciamiento admitido entre juntas necesita ser diseñado dentro del rango de 4 a 6 veces (normalmente 5 veces) el radio de rigidez relativa (l) del pavimento.

Éste último se determina como sigue:



Donde:

$$l = \left[ \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - i^2) \cdot k} \right]^{0.25}$$

$l$  = radio de rigidez relativa, en pulg.

$E$  = módulo de elasticidad del concreto, en psi

$h$  = espesor de la losa, en pulg..

$i$  = coeficiente de Poisson para el concreto (generalmente 0,15)

$k$  = módulo de reacción de la base/subrasante (parte superior de la subbase estabilizada), en lb./pulg.<sup>3</sup>

Asumiremos la separación de la juntas a 5 veces de radio de rigidez relativa.

**Tabla 4:** - Distancias máximas entre juntas, en función del espesor de la losa.

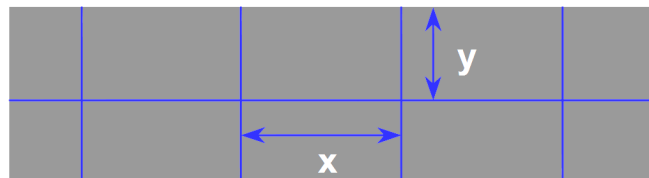
Espesor de la losa, cm.	Espesor de la losa, pulg.	Distancia entre juntas, m	Distancia entre juntas, pies
15	6	3,8	12,5
15,5 a 23	7 a 9	4,6	15
23 a 30,5	9 a 12	6,1	20
>30,5	>12	7,6	25

La otra dimensión que tiene que ver con la modulación de losas es la separación de juntas longitudinales, sin embargo esta está referenciada a la forma de los tableros de losas.

La forma ideal de un tablero de losa es la cuadrada, sin embargo no siempre es posible y conveniente tener las losas perfectamente cuadradas, por lo que nos vemos obligados a considerar un cierto grado de rectangularidad.

La relación entre largo y ancho de un tablero de losas no deberá estar fuera de estos límites: 0.71 a 1.4.

$$0.71 < \frac{x}{y} < 1.4$$



**Figura 15.** -Relación largo - Ancho de losa

# CAPÍTULO III

## INGENIERÍA DEL PROYECTO

### APLICACIÓN PRÁCTICA

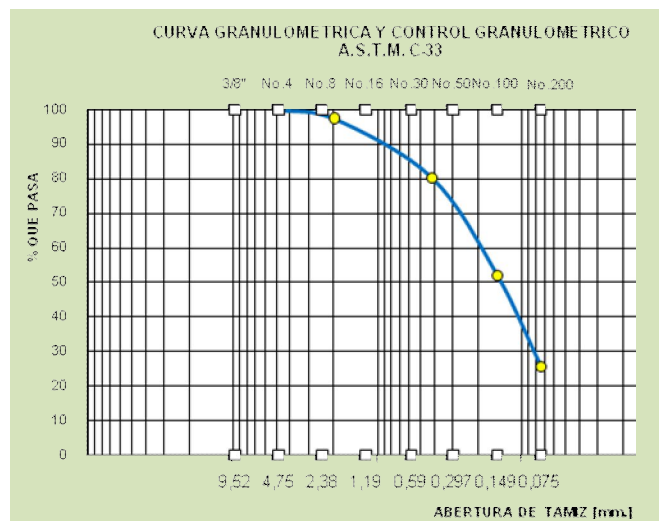
#### 3.1. ESTUDIO DE SUELOS

Resultados del estudio de suelos del estudio del piso del proyecto:

##### 3.1.1. Análisis granulométricos

TAMICES		PESO RETENIDO ACUMUL. (gr)	% RETENIDO ACUMUL.	% MAS FINO
SERIE	mm			
Nº 4	4,750		0,00%	100,00
Nº 10	2,000	7,60	2,86%	97,14
Nº 40	0,425	52,33	19,67%	80,33
Nº 100	0,150	127,60	47,97%	52,03
Nº 200	0,075	197,65	74,30%	25,70

**Tabla 5.** Tabla de de análisis granulométrico del suelo extraído de las instalaciones de Bodegas Casa Grande



**Figura 16.** Grafico de análisis granulométrico del suelo extraído de las instalaciones de Bodegas Casa Grande

##### 3.1.2. Límites de Atterberg.

Los resultados de los límites de las tres muestras:

LL = 29.01 %	LL = 28.91 %	LL = 29.44 %
LP = 20.33%	LP = 19.003%	LP = 18.67%
IP = 8.69%	IP = 9.903%	IP = 10.71%



### 3.1.3. Clasificación del suelo.

Clasificación AASHTO de las tres muestras es:

**A-4(8)**

Es un suelo fino poco limoso con poco plasticidad, en los cuales se retiene más del 75% el tamiz N°200

### 3.1.4. Compactación Modificado.

La compactación modificada realizada fue de tres muestras:

N° de Ensayos	1	2	3	Unid
Humedad Optima	11,7	11,2	10,9	%
Densidad Máxima	1970	1969	1968	gr/cm3

### 3.1.5. C.B.R. (es del 8%)

Los CBR. De las tres muestras son:

N°	C.B.R. %
1	8.22 %
2	8.68 %
3	8.84 %

El suelo es de tipo arcilloso semiduro su clasifico según AASHTO es del tipo A-4, consideran el suelo como “apto” para llevar a cabo la ejecución del proyecto.

En las calicatas no se ha alcanzado la capa freática, cosa que era poco probable por la ubicación de la Bodega.

## 3.2. DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL PISO

### 3.2.1. RESISTENCIA DEL CONCRETO

#### 3.2.1.1. Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión, se escoge la resistencia a los 28 días como la de diseño seria:

$$MR = 44 \text{ [Kq/cm}^2\text{]}$$

$$MR = 640 \text{ [Psi]}$$

#### 3.2.1.2. Resistencia a la compresión



Según las recomendaciones internacionales para el concreto de pisos industriales a los 28 días será:

$$MR = 50 \text{ [Kg/cm}^2\text{]}$$

### 3.2.2. FACTOR DE SEGURIDAD

Se fijan factores de seguridad para proteger el piso, en la ingeniería se manejan diferentes conceptos de factores de seguridad, algunos mayoran las cargas, vivas y muertas, otros reducen las características mecánicas de los materiales. En el diseño de pisos se trabaja normalmente con el último concepto.

#### 3.2.2.1. Factor de seguridad para Montacargas.

Se toma un valor de 2.2 por que existe incertidumbre sobre las cargas o éstas son muy pesadas y para áreas consideradas críticas, por la imposibilidad de repararlas.

$$FS = 2.2$$

#### 3.2.2.2. Para Container y cargas puntuales

Se debe seleccionar el factor tomando en cuenta las condiciones más críticas de las cargas que actuaran en el piso industrial factor de 5 ya que los racks son independientes de la estructura y su altura es menor a los 10.7 metros (35 pies).

$$FS = 5$$

### 3.2.3. FACTOR DE JUNTA

Montacargas y otro tipo de cargas que actuaran más frecuentemente cruzando juntas sin sistemas de transferencia de carga, el factor de junta recomendado será de 1.6.

$$FJ = 1.6$$

Este valor es usado porque el espaciamiento de las juntas en el piso está relativamente en el límite mayor, es decir, de 4.5-5.0 metros.

### 3.2.4. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS TIPO

La determinación de las sollicitaciones de las cargas se analiza por tipos:

#### 3.2.4.1. MONTACARGAS

En este proyecto los parámetros adoptados y los procedimientos utilizados para el diseño se presentan a continuación:

Esta Bodega utiliza montacargas de eje sencillo y dobles son estimados la magnitud de las cargas a continuación.

$$\text{Carga (montacarga)} = 11.3 \text{ [Tons]}$$

#### 3.2.4.2. CONTAINERS O RACKS

##### a. Magnitud de las carga en la columna del estante:

Los estantes o contenedores más grandes y pesados que se utilizaran en el piso industrial de las Bodegas Casa Grande son de 50000 lt de capacidad y el más cargado esta carga transmite a sus columnas es de:

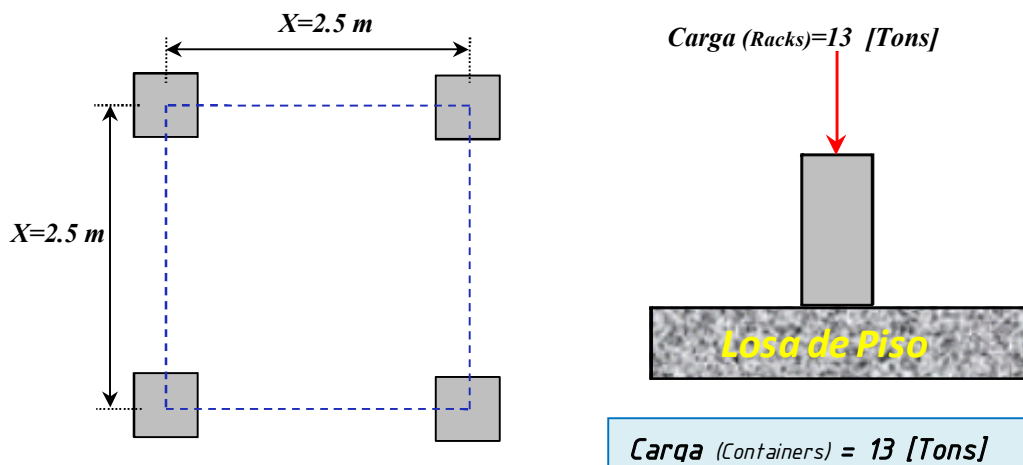


Figura 17. Grafico de los apoyos que soportaran la carga máxima de los contenedores de Bodegas Casa Grande

##### b. Dimensionamiento de la columna:

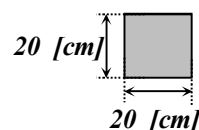


Figura 18. Grafico de los apoyos y su dimensión de los contenedores de Bodegas Casa Grande



**c. Área de Contacto:**

$$A_c = 400 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$A_c = 62 \text{ [pl}^2\text{]}$$

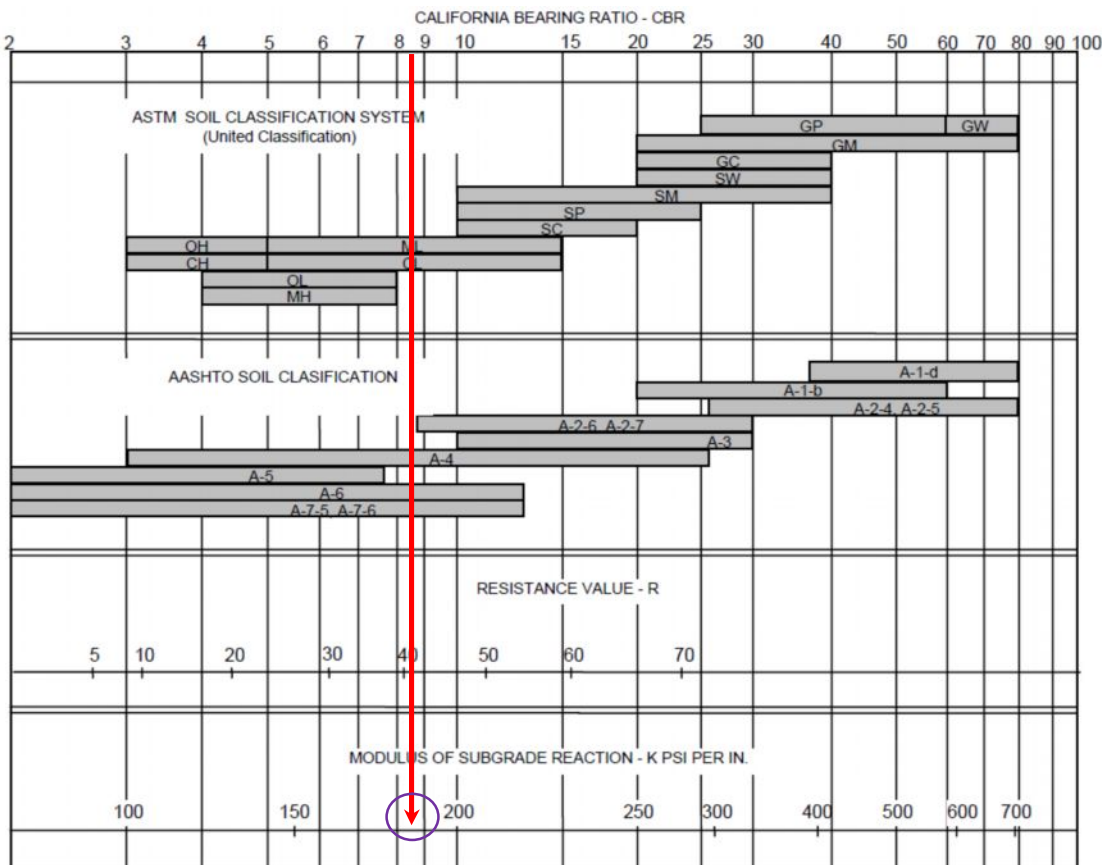
**3.2.5. MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUB-RASANTE**

**- Datos para la determinación del Modulo de reacción de la sub-base K:**

De acuerdo a los datos de laboratorio del material, este suelo se trata de:

<b>Tipo de Suelo (AASHTO)</b>	<b>A-4(8)</b>
<b>Valor Soporte C.B.R.</b>	<b>8.2</b>

Estas tablas están en función del CBR% y el tipo de suelo clasificado y determinamos el Modulo de reacción de la sub rasante (k).



**Figura 19.** Relación aproximada entre las clasificaciones de suelo, valor soporte CBR y los valores de resistencia, para determinar el modulo de reacción de la sub rasante K, elaborada por la norma ASTM D1195



Es el valor determinado del modulo K:

$$K = 184 \text{ [Psi]}$$

La Norma AASHTO T222-78 a considerado algunas formulas logarítmicas en función del porcentaje del CBR% para la determinación del módulo de reacción de la sub rasante (k)

CBR = 8.2%

$$K = 0.4371 + 2.2171 \cdot \ln(\text{CBR}) \left[ \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^3} \right] \quad \text{CBR} < 18\%$$

Entonces determinaremos de la siguiente manera:

$$K = 0.4371 + 2.2171 \cdot \ln(8.2)$$

$$K = 5.102 \text{ [Kg/cm}^3\text{]}$$

$$K = 184 \text{ [Psi]}$$

### 3.2.6. ESFUERZO DE TRABAJO DEL CONCRETO.

En función de los valores determinados se calcula el esfuerzo de trabajo al que estará sometida la losa del estacionamiento:

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

*WS: Esfuerzo de trabajo del concreto*  
*MR: Resistencia a flexión*  
*FS: Factor de seguridad*  
*FJ: Factor de junta*

#### 3.2.6.1. Montacargas.

Datos:

$$MR = 640 \text{ [Psi]}$$

$$FS = 2.2$$

$$FJ = 1.6$$



$$WS = \frac{640}{2.2 \cdot 1.6}$$

$$WS = 181.82 \text{ [Psi]}$$

#### 3.2.6.2. Contenedores o Racks.

Datos:

$$MR = 640 \text{ [Psi]}$$

$$FS = 5$$

$$FJ = 1.6$$



$$WS = \frac{640}{5 \cdot 1.6}$$

$$WS = 80 \text{ [Psi]}$$





### 3.2.7. Esfuerzo en la losa por carga en el eje

Esfuerzos en losa por cada 1000 lb de carga en el eje es la siguiente:

$$WC = \frac{WS}{Carga}$$

*WC: Esfuerzo en la losa por carga en el eje*  
*WS: Esfuerzo de trabajo del concreto*

#### 3.2.7.1. Montacargas.

Datos:

WS = 181.82 [Psi]  
Carga x eje = 25 [Kips]



$$WC = \frac{WS}{Carga \text{ en el eje}}$$

$$WC = \frac{181.82}{25}$$

$$WC = 7.3 \text{ [Psi]}$$

#### 3.2.7.2. Contenedores o Racks.

Datos:

WS = 80 [Psi]  
Carga en columna = 29 [Kips]



$$WC = \frac{WS}{Carga \text{ por columna}}$$

$$WC = \frac{80}{29}$$

$$WC = 2.8 \text{ [Psi]}$$

### 3.2.8. DISEÑO DEL ESPESOR DE LA LOSA

#### 3.2.8.1. Espesor de losas para Montacargas.

Datos:

$$WS = 7,3 \quad [\text{Psi}]$$

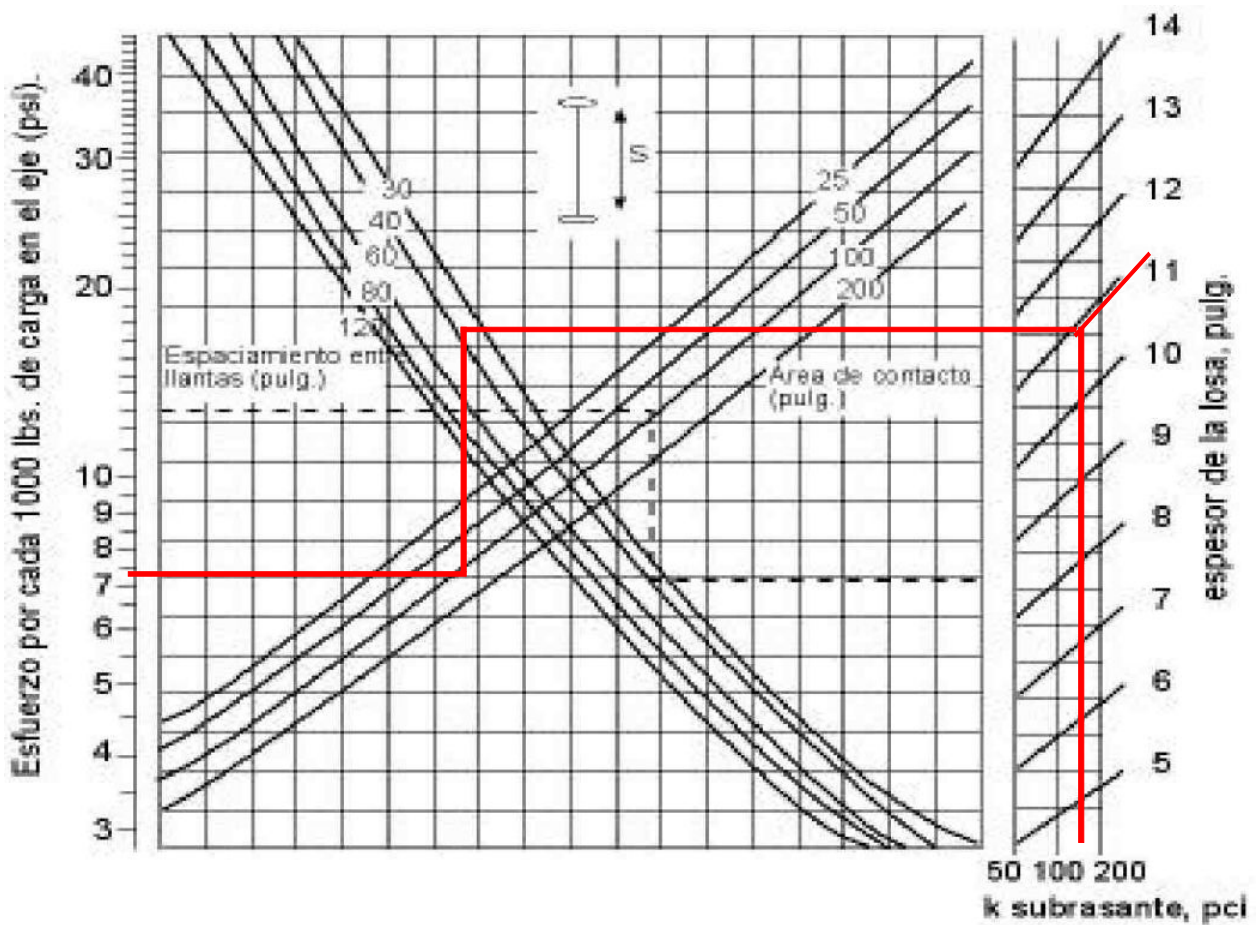
$$\text{Área de Contacto} = 114 \quad [\text{Plg}^2]$$

$$\text{Espaciamiento de llantas} = 37 \quad [\text{Plg}]$$

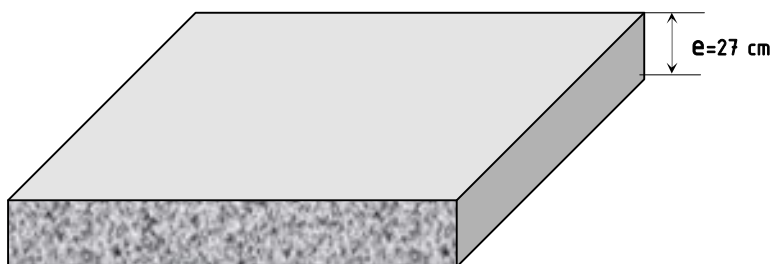
$$\text{Modulo de reacción (K)} = 184 \quad [\text{Psi}]$$

Entrando a los ábacos:

**Figura 20.** Grafico para determinar el espesor de la losa para montacargas según la norma PCA está en relación aproximada entre el esfuerzo cada 1000 lbs de carga en el eje, espaciamento entre llantas, área de contacto el modulo K de la subrasante.



Del gráfico el espesor (e) de la losa será:



$$e = 10.8 \text{ [plg]}$$

$$e = 27 \text{ [cm]}$$

### 3.2.8.2. Espesor de losa para Container o Racks.

Datos:

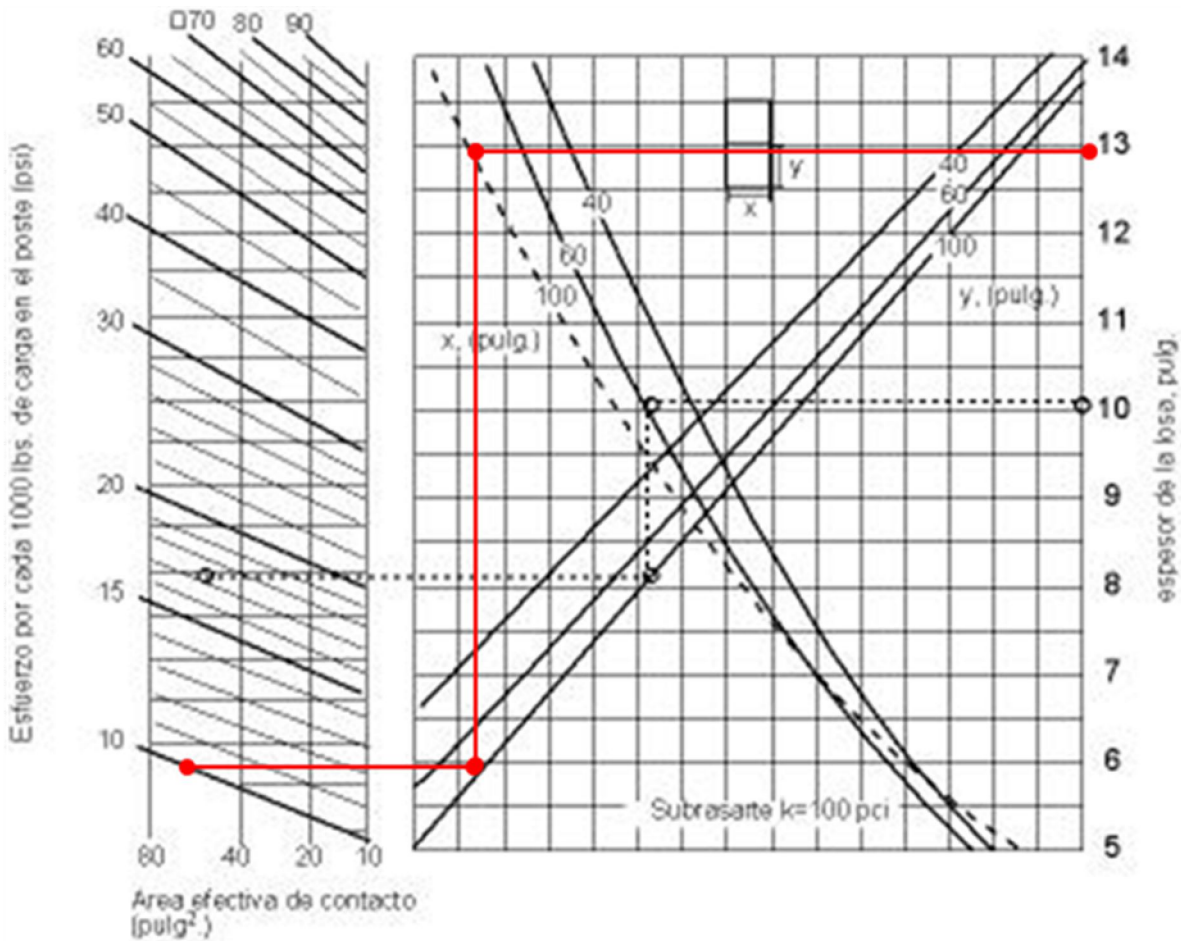
$$WS = 2,8 \quad [\text{Psi}]$$

$$\text{Área de Contacto} = 62 \quad [\text{Plg}^2]$$

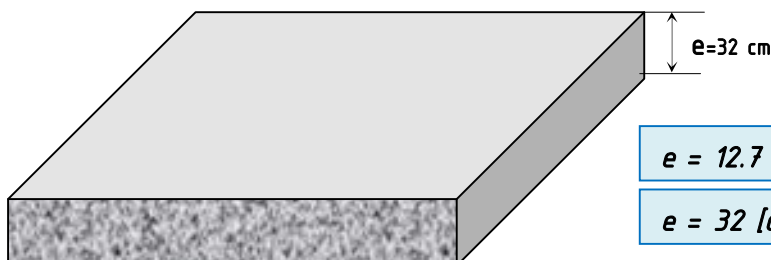
$$\text{Espaciamiento de columnas (X,Y)} = 98,43 \quad [\text{Plg}]$$

$$\text{Modulo de reacción (K)} = 184 \quad [\text{Psi}]$$

Entrando a los ábacos:



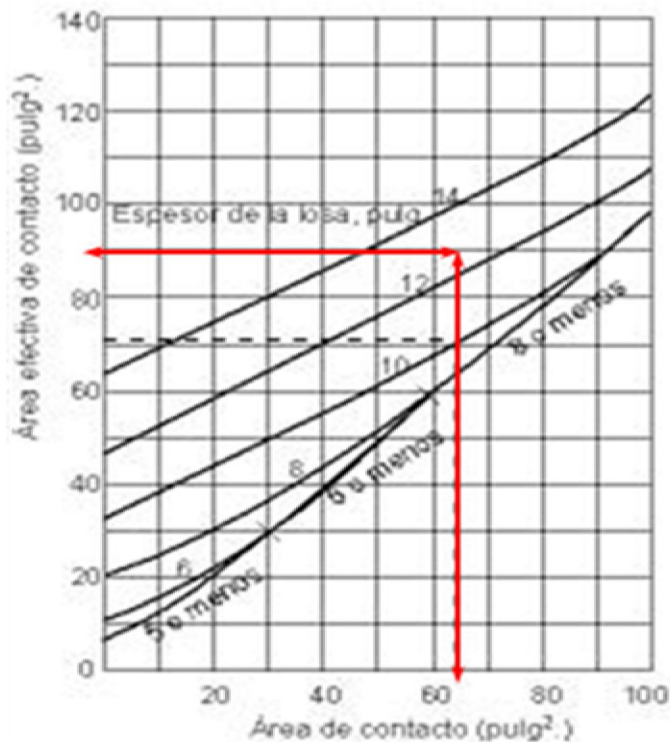
Del gráfico el espesor (e) de la losa será:



**Figura 21.** Grafico para determinar el espesor de la losa para montacargas según la norma PCA está en relación aproximada entre el esfuerzo cada 1000 lbs de carga en el eje, espaciamento entre llantas, área de contacto el modulo K de la subrasante.

### 3.2.8.3. Área efectiva.

Use ahora la figura 22 para determinar si el área efectiva de contacto es significativamente más grande que el área de contacto actual. Para **12,7 plg** de espesor de losa y 90 pulg<sup>2</sup> de área de contacto el área efectiva de contacto es **90 pulg<sup>2</sup>**; esta corrección no es un cambio significativo en el requerimiento del espesor de losa.



Entonces el área efectiva será:

$$A_e = 90 \text{ [plg}^2\text{]}$$

Figura 22. Gráfico para determinar el área efectiva de contacto que está en función del espesor de la losa, gráfico elaborado por la PCA.

### 3.2.8.4. Capacidad de Carga.

El siguiente paso es la revisión por capacidad de carga, comprobando que el esfuerzo de carga actuante y el esfuerzo cortante se encuentren dentro de los límites aceptables.



**a. Revisión por capacidad de carga.**

• **Capacidad de carga Permisible.**

De 4.2 veces el módulo de ruptura a los 28 días para la carga interior

MR = 640 [Psi]

$$W_{permisible} = 4.2 \cdot MR$$

$$W_{permisible} = 4.2 \cdot 640$$

$$W_{permisible} = 2688 \text{ [Psi]}$$

De 2.1 veces (la mitad que la aplicable para carga interior) el modulo de ruptura a los 28 días para cargas de borde o esquina.

$$W_{permisible} = 2.1 \cdot MR$$

$$W_{permisible} = 2.1 \cdot 640$$

$$W_{permisible} = 1344 \text{ [Psi]}$$

• **Esfuerzos de carga actuante.**

Es (Cargas por poste / área de contacto):

Carga por poste o columna=28659,8[lb]

Área de contacto=90 [Plg<sup>2</sup>]

$$\text{Carga por poste/área de contacto} = 462,25 \text{ [Psi]}$$

Esta carga actuante debe ser menor que la carga admisible:

$$462,25 \text{ [Psi]} < 2688 \text{ [Psi]} \quad \text{Es menor Comple}$$

$$462,25 \text{ [Psi]} < 1344 \text{ [Psi]} \quad \text{Es menor Comple}$$



**b. Revisión por esfuerzos cortantes:**

• **Esfuerzo Cortante Permissible.**

$$MR = 640 \text{ [Psi]}$$

$$\sigma_{\text{permissible}} = 0.27 \cdot MR$$

$$\sigma_{\text{permissible}} = 0.27 \cdot 640$$



$$\sigma_{\text{permissible}} = 172.8 \text{ [Psi]}$$

• **Esfuerzo Cortante Actuante.**

Para cargas interiores:

$$\text{Área de contacto} = 62,0 \text{ [Plg}^2\text{]}$$

$$\text{Carga en columna} = 28659,8 \text{ [Lb]}$$

$$\text{Espesor de losa (e)} = 12,7 \text{ [Plg]}$$

$$\text{Perímetro (P)} = 31,50 \text{ [Plg]}$$

$$\sigma_{\text{actuante}} = \frac{\text{Carga en columna}}{e \cdot (P + 4 \cdot e)}$$

$$\sigma_{\text{actuante}} = \frac{28659.8 \text{ lb}}{12.7 \cdot (31.50 + 4 \cdot 12.7)}$$



$$\sigma_{\text{act}} = 27.42 \text{ [Psi]}$$

Para cargas en borde:

$$\sigma_{\text{actuante}} = \frac{\text{Carga en columna}}{e \cdot (0.75 \cdot P + 2 \cdot e)}$$

$$\sigma_{\text{actuante}} = \frac{28659.8 \text{ lb}}{12.7 \cdot (0.75 \cdot 31.50 + 2 \cdot 12.7)}$$



$$\sigma_{\text{act}} = 46.03 \text{ [Psi]}$$



Para cargas en las esquinas:

$$\sigma_{actuante} = \frac{\text{Carga en columna}}{e \cdot (0.5 \cdot P + e)}$$

$$\sigma_{actuante} = \frac{28659.8lb}{12.7 \cdot (0.5 \cdot 31.50 + 12.7)}$$

$$\sigma_{act} = 79.33 \text{ [Psi]}$$

Los esfuerzos de cortantes calculados para las esquinas, bordes e interiores son significativamente más bajos que el esfuerzo cortante permisible del concreto, por lo que el espesor encontrado de 10.2 pulgadas es apropiado.

### 3.2.9. DISEÑO DE JUNTAS Y PASA JUNTAS

El Coeficiente de Transferencia de Carga considera el esfuerzo de transferencia a través de la junta o grieta.

#### 3.2.9.1. Junta Transversal de Contracción

##### a. Espaciamiento.

Normalmente se utiliza 20 cuando tenemos mayor fricción entre la sub-base y el pavimento de concreto, como en los casos en donde tenemos bases estabilizadas.

El valor de 24 se utiliza cuando la fricción entre la sub-base y el pavimento corresponde valores normales, como en el caso de sub-bases granulares.

La separación de juntas transversales que arroja esta fórmula no debe ser mayor de 5.0 m, en tal caso deberá limitarse a este valor de 5.0 m.

$$S_{JT} \leq 5 \text{ mts}$$

$$S_{JT} = (20 \text{ a } 24) \cdot D$$

SJT: Separación de Juntas transversales (mts)



$$S_{JT} = 20 \cdot D$$

D: Espesor de la Losa en (mts)

$D = 0,32 [m]$  Altura de losas para Cargas Fijas

$D = 0,27 [m]$  Altura de losas para Montacargas

$$S_{JT} = 20 \cdot 0.32$$

$$S_{JT} = 20 \cdot 0.27$$

$$S_{JT} = 6.4 [m]$$

$$S_{JT} = 5.4 [m]$$

Separación de junta en función de radio de rigidez relativa.

Para bases estabilizadas de alta resistencia, el espaciamiento admitido entre juntas necesita ser diseñado dentro del rango de 4 a 6 veces (normalmente 5 veces) el radio de rigidez relativa (l) del pavimento.

Éste último se determina como sigue:

Donde:

l = radio de rigidez relativa, en pulg.

E = módulo de elasticidad del concreto, en psi

h = espesor de la losa, en pulg.

i = coeficiente de Poisson para el concreto (generalmente 0,15)

k = módulo de reacción de la base/subrasante (parte superior de la subbase estabilizada), en lb./pulg.<sup>3</sup>

$$l = \left[ \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - i^2) \cdot k} \right]^{0.25}$$

E= 4000000 [psi]

h = 12,60 [plg]

i= 0,15

k= 184,0 [lb/plg<sup>3</sup>]

$$l = \left[ \frac{4000000 \cdot 12.7^3}{12 \cdot (1 - 0.15^2) \cdot 184} \right]^{0.25}$$

$$l = 43.88 [plg]$$

Asumiremos la separación de la juntas a 5 veces de radio de rigidez relativa.

Separación será:

$$S_{JT} = 219,38 [plg]$$

$$S_{JT} = 5 \cdot l$$



$$S_{JT} = 5 \cdot 43.88$$

$$S_{JT} = 5.57 [m]$$

Asumimos para ambos casos por seguridad a problemas de agrietamiento y contracción:

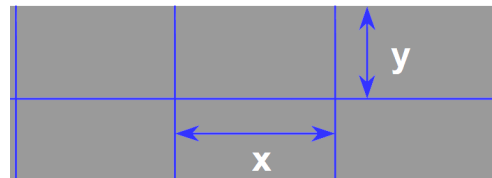
$$S_{JT} = 5.0 [m]$$



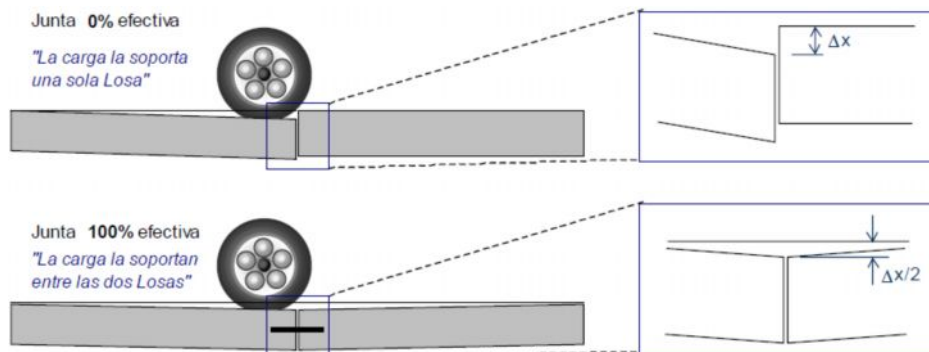
Forma de los tableros de la losa, la forma ideal de un tablero de losa es la cuadrada, sin embargo no siempre es posible y conveniente tener las losas perfectamente cuadradas, por lo que nos vemos obligados a considerar un cierto grado de rectangularidad.

La relación entre largo y ancho de un tablero de losas no deberá estar fuera de estos límites: 0.71 a 1.4.

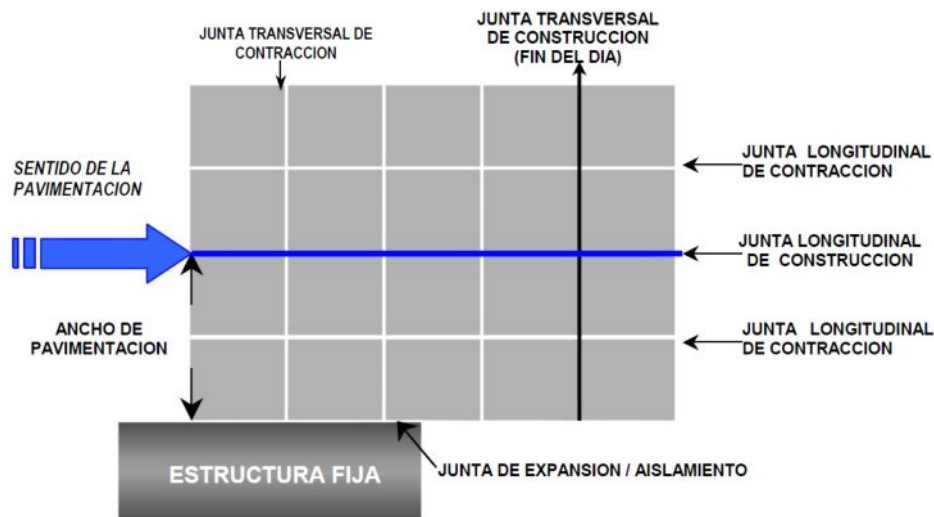
$$0.71 < \frac{x}{y} < 1.4$$



**Fig. 23-**Relación largo - Ancho de losa



**Figura 24.** Grafico para determinar el área efectiva de contacto que está en función del espesor de la losa, grafico elaborado la PCA.





## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1. CONCLUSIONES

- ✓ Para evaluar si el suelo encontrado en el lugar del proyecto, era o no apto para formar parte del piso por diseñar, fue necesario realizarle una serie de estudios, para valorar el material de una forma adecuada y predecir el comportamiento del mismo bajo carga.
- ✓ El método simplificado de la PCA, utilizado en el diseño del piso, es un método de fácil aplicación, ya que gran parte del procedimiento del mismo se basa en tablas, por lo que tiene gran aplicación.
  
- ✓ El Módulo de Reacción  $k$  es exclusivamente del terreno natural, sin considerar el incremento por base o sub-base. Algunos de estos efectos son relacionados principalmente con autopistas y pavimentos, aunque también algunos pueden considerarse en losas o pisos interiores. Afortunadamente, una losa o piso interior es sujeta a rangos más nobles de temperatura, humedad y clima que un pavimento exterior. Las dos diferencias más importantes entre un pavimento exterior y una losa de piso interior son:
  - 1- La cantidad y frecuencia de exposición al agua (lluvia).
  - 2- Las cargas en los pisos no son impuestas por vehículos a altas velocidades, sin embargo, la magnitud de la carga puede ser considerablemente mayor.
- ✓ 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, 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 en este suelo.

- ✓ El área de contacto es crítica para el caso de cargas fuertes en las columnas de las estructuras de almacenamiento o racks. Si la base de las columnas es muy pequeño, la falla de la losa debido a 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.
- ✓ Los selladores de juntas de un piso industrial tienen especial importancia, ya que además de soportar los movimientos de contracción y dilatación propios del concreto debido a los cambios de temperatura y humedad, deben resistir el tráfico de montacargas, el objetivo del sellado de juntas es minimizar la infiltración de materiales incompresibles al interior de la junta del pavimento y por ende al interior del piso y de su estructura.

## **4.2. RECOMENDACIONES**

- ✓ . Las recomendaciones adicionales para la ejecución de este diseño del piso industrial de Bodegas Casa Grande son las siguientes:
  - Colocar una capa de sub base mínima de 20 cm de espesor cuyas características físico-mecánicas sean del límite superior de las especificaciones.

- Las dimensiones de la losa deben ser entre 5x5 m para evitar mayores contracciones y dilataciones por alabeo térmico, además por la trayectoria que ejercerán los vehículos en el estacionamiento.
  - Los cortes de las losas deben efectuarse entre las 4 y 7 horas después del vaciado.
  - El curado debe realizarse con productos sikadure para garantizar el curado homogéneo.
  - El sello de las juntas en lo posible del ser con materiales especificado no con mastique asfáltico.
- ✓ Tomando en cuenta el modulo de reacción de la subrasante K cuyo valor es de 184 psí se establece como espesor mínimo de sub base 6 pulgadas y como recomendable **8 pulgadas (20 cm)** adoptándose este último como espesor de capa de doradura
- En cuanto a los pasa juntas de contracción y amarre se determina de acuerdo al espesor y las recomendaciones de PCA los siguientes diámetros, longitud y separación.

### Pasa Juntas:

Diámetro = 25 mm o 1"

Longitud = 60 cm

Separación = 50 cm

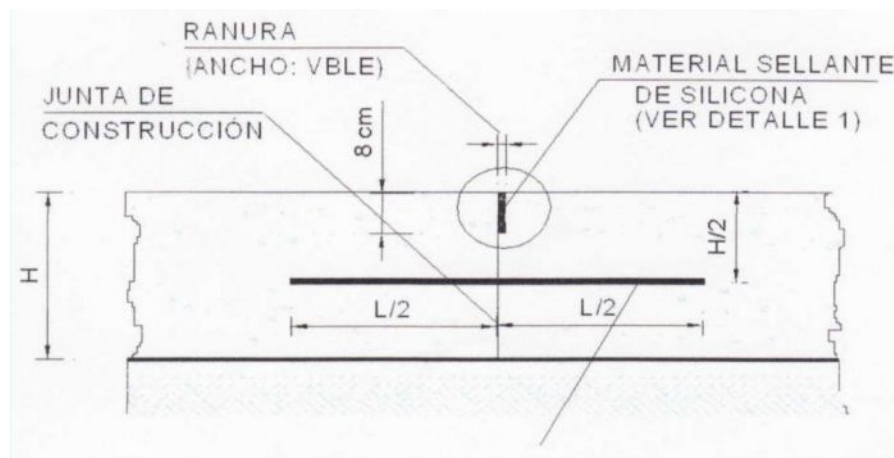


Figura 26. Grafico de detalles de pasa juntas y junta elaboración propia.



- ✓ . El concreto debe ser colocado y terminado, por personal con experiencia y habilidad en la construcción de pisos de concreto. El acabado superficial en el concreto requiere de los tres pasos siguientes:
  1. Colocación y extendido del concreto, compactación y nivelación de la superficie de concreto enrasado o perfilado con el uso de herramienta manual o de regla vibratoria.
  2. Consolidación y acabado de la superficie mediante el flotado, seguido por el corte de puntos altos y relleno de puntos bajos (corrección de planicidad).

Existen tres acabados básicos en la superficie de una losa de concreto: regleado, flotado y allanado.
  3. El acabado regleado, involucra la menor cantidad de trabajo. Inmediatamente después de la consolidación, el concreto excedente es removido en la superficie por un proceso de regleado. Este acabado no es usado para el caso de pisos industriales, sin embargo, si lo es para otro gran número de pisos de concreto en donde no es tan importante el control de la superficie de concreto terminada.
  
- ✓ Las siguientes recomendaciones se hacen para un correcto diseño de juntas:
  1. Evite losas de forma irregular.
  2. La separación máxima entre juntas transversales deberá ser de 24 veces el espesor ó 5.0 metros, pero no debe ser mayor a 5 mts.
  3. Mantenga losas tan cuadradas como sea posible, ya que losas angostas y largas tienden a agrietarse en mayor cantidad que las cuadradas.
  4. Todas las juntas de contracción transversales deberán ser continuas a través de la guarnición y tener una profundidad igual a 1/3 del espesor del pavimento.
  5. En las juntas de aislamiento, el relleno deberá ser toda la profundidad.
  6. Si no se cuenta con guarniciones, las juntas deberán amarrarse con alambres de amarre.
  7. Ajustes menores en la ubicación de las juntas, desplazando ó inclinando algunas juntas para que coincidan en el centro de la nave industrial mejoran el comportamiento del piso.