

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1. Generalidades

La construcción de vías con concreto hidráulico, es una solución probada en el mundo, se trata de una opción rentable que, además de aportar mayor seguridad para los conductores por ser antiderrapante, brinda la oportunidad de contar con carreteras con ciclos de vida de entre 20 y 40 años, económicas en el largo plazo, por sus bajos costos de mantenimiento y por el ahorro en combustible del vehículo de hasta un 20%.

Al hacerse una evaluación económica de la carretera en su periodo de vida útil, se demuestra que los pavimentos de concreto tienen un costo menor de hasta un 30%, en comparación con los de asfalto; de ahí que representan una excelente opción.

Sin embargo, para contar con una moderna red carretera no basta con que éstas sean de concreto, sino que deben cumplir con las especificaciones de diseño de acuerdo con el terreno y el flujo vehicular.

Las grandes ventajas que el concreto nos ofrece, como capa de rodadura para pavimentos son las siguientes:

- Provee una mejor visibilidad.
- Es amigable con el medio ambiente.
- Seguro en la lluvia.
- Durante la construcción de una carretera de concreto se crean más fuentes de trabajo.
- Incide en un mejor rendimiento del combustible.
- Ofrece mayor duración.
- Requiere de poco mantenimiento.
- Su uso en carreteras da por resultado una superficie más suave de manejo a lo largo de su vida útil.

El desempeño deseable de un pavimento de concreto puede obtenerse al asegurarse de que se minimicen los casos de deterioro que pueden desarrollarse. Los deterioros que pueden desarrollarse en pavimentos de concreto incluyen los siguientes:

- Fisuración (en esquinas, longitudinal, transversal, relacionada con la durabilidad o los materiales).
- Relacionados con las juntas (desprendimiento, bombeo, daños en el sellado de juntas).
- Defectos en la superficie (descascarado, protuberancia, Fisuración en bloque).

Los factores que afectan el desempeño prolongado de un pavimento de concreto pueden dividirse en las siguientes categorías generales:

- Diseño adecuado de la estructura del pavimento.
- Uso de materiales de calidad.
- Uso de procedimientos constructivos y de mantenimiento apropiados.

Un pavimento de concreto bien diseñado y construido resistirá las cargas vehiculares anticipadas, en las condiciones climáticas propias del lugar durante el período de tiempo deseado con actividades mínimas de mantenimiento y reparación.

El costo inicial de construcción de carreteras con concreto es superior a las de asfalto en un 15% aproximadamente. Sin embargo, el precio de mantenimiento de las primeras es menor (cerca del 50%) en comparación con los pavimentos asfálticos. Es en el mantenimiento o reparación de los pavimentos de concreto, donde precisamente puede percibirse la mayor ventaja de su uso dado requieren el reemplazo de la carpeta cada cinco u ocho años en promedio, mientras que en concreto resisten entre 15 y 20 años sin intervenciones mayores.

1.2. Justificación

La creciente aplicación de pavimentos de concreto, en la construcción de vías en nuestro territorio, debido a que en diversas situaciones, ha sido la solución más factible, en especial cuando se demuestra que la suma de los costos de construcción y mantenimiento a largo plazo resultan inferiores a otras aplicaciones, además que está demostrado que el costo de operación de los vehículos y el consumo de combustible, es menor en pavimentos de

concreto, lo cual en largo plazo se refleja en ahorros muy importantes, para áreas urbanas como lo es nuestra ciudad.

Sin embargo podemos confirmar que la mayor parte de las calles y carreteras de concreto que se han ejecutado en el departamento están en pobres condiciones a pesar de las reparaciones y mantenimientos que se le han realizado, esto es debido entonces a la mala ejecución de las prácticas de reparación, de ahí que nace el interés por este estudio ante la necesidad de establecer procesos para un mejor mantenimiento, de nuestras calles y carreteras de pavimento de concreto, pues, es un proceso complejo, debido a que debe integrar exitosamente nuevos materiales con los que se realiza la reparación, con materiales viejos, formando un compuesto capaz de soportar las exposiciones al uso, el medio ambiente y el tiempo.

Hoy en día podemos afirmar, que el mal estado de las calles y carreteras, de Tarija, se debe principalmente a la falta de metodologías precisas para su reparación además de la falta de definición de técnica y guías técnicas estandarizadas, y cuya escasez conduce a reparaciones diseñadas pobremente, materiales defectuosamente concebidos, y procedimientos en el campo pobremente ejecutados. Es lógico que se vean casos en nuestra ciudad, con este tipo de prácticas, resultando en trabajos defectuosos que requieren de una reparación prematura, casos en los cuales las reparaciones realizadas no son factibles, ya que no garantizan su funcionamiento, debiendo en poco tiempo realizar nuevas reparaciones generando un mayor gasto económico que el debido.

1.3. Objetivos:

1.3.1. Objetivo general:

Evaluar las diferentes metodologías, de reparación de pavimentos de concreto, de forma que se lo observe como un proceso integrado del análisis, estrategia y técnica, que relacione el comportamiento del concreto directamente con el proceso de reparación en campo.

1.3.2. Objetivo específico:

- Evaluar al concreto como material estructural, estableciendo sus propiedades, su comportamiento.

- Evaluar los pavimentos de concreto, sus características y consideraciones, necesarias para su diseño por los métodos AASHTO-93 y PCA-98.
- Analizar las técnicas de reparación de superficies de concreto, con el objeto de lograr reparaciones durables y efectivas, considerando aspectos como el análisis, estrategia y diseño de la reparación, materiales, preparación de superficies y técnicas de colocación.
- Analizar las particularidades necesarias para poder evaluar el estado de un pavimento de concreto existente, y determinar las técnicas adecuadas de reparación, con la finalidad de mejorar la circulación e impedir el deterioro posterior del pavimento a bajo costo pero garantizando la calidad de la reparación.
- Realizar una aplicación práctica, de alguna de las metodologías de reparación establecidas en el estudio, en pavimentos rígidos que presenten deterioros prematuros y en áreas localizadas.
- Elaborar un diagnóstico de las metodologías aplicadas, analizando la calidad de las reparaciones y el costo necesario para su ejecución.

1.4. Alcance:

La importancia de la reparación de pavimentos de concreto en la actualidad, nos lleva a ser más receptivos a nuevas alternativas que de alguna manera revolucionaran los métodos convencionales que resultan muchas veces inadecuados e ineficientes, pretendiendo dar respuesta a esta necesidad es que se realizara un estudio que permita analizar y diseñar estrategias de reparación de pavimentos de concreto hidráulico, teniendo en cuenta sus características y propiedades además de su comportamientos en campo.

Estableciendo el contenido mínimo del estudio como el siguiente:

Capítulo I, breve introducción al estudio de pavimentos de concreto y sus principales ventajas, también contiene la justificación del estudio sobre la reparación de pavimentos de concreto, además de los objetivos planteados.

Capítulo II, dividido en dos secciones en la primera, analizando el concreto en sí, sus propiedades, características y su comportamiento, los factores que afectan su

comportamiento tales como: el diseño, los materiales, la construcción, cargas y condiciones de servicio y las condiciones de exposición que se reflejan en deterioros como: astillamientos desintegración, agrietamiento, desgaste, etc. La segunda sección de este capítulo, analiza los pavimentos de concreto, su diseño, los métodos de diseño de los pavimentos de concreto más importantes como son los de la AASHTO y PCA, también se verán las características del concreto para pavimentos, su comportamiento y la evaluación, necesaria para determinar el estado actual del pavimento.

Capítulo III, investigar las metodologías usadas en la reparación de superficies de concreto, desde análisis, estrategia y diseño de la reparación, así como las especificaciones y propiedades de los materiales a usar, de igual forma el acondicionamiento o preparación que se debe de realizar al concreto existente de manera que reciba correctamente los materiales de reparación, especificando en otra sección lo que es la reparación y protección del acero de refuerzo, para al final establecer las técnicas de colocación de la reparación.

Capítulo IV, detalla los tipos de reparación de pavimentos de concreto hidráulico, estableciendo en que situaciones, o tipo de fallas, se deberán de realizar alguna de las metodologías de reparación, estableciendo el procedimiento a seguir, desde una investigación preliminar del pavimento, demarcado y aislamiento de áreas, remoción de áreas deterioradas y retiro de losas en caso de reparación a profundidad total, así como los materiales para la reparación, y su colocación y acabado.

Capítulo V, se realizara una Aplicación práctica, de la reparación de pavimento de concreto, para lo cual en primer lugar se ubicaran vías, que hayan sido construidas con concreto. En las cuales en función de las fallas que se presenten, sean fallas funcionales o fallas estructurales, se establecerán los procedimientos necesarios y los más adecuados, para corregir dichas fallas, mediante una correcta reparación del pavimento de concreto, que se realizara en función a las facilidades que se nos brinde para su ejecución.

Capítulo VI, establece las conclusiones a las que se llegaron luego de haber concluido el estudio “EVALUACION DE METODOLOGIAS PARA LA REPARACION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO”, observando cuales de los objetivos se realizaron de forma exitosa, además de especificar las posibles recomendaciones, con las cuales se mejore el proceso de la reparación y el mantenimiento de los pavimentos de concreto.

CAPÍTULO II

ASPECTOS GENERALES DEL CONCRETO Y DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO

2.1. Fundamentos del concreto

El concreto es un material semejante a la piedra que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, arena, grava u otro agregado y agua principalmente; después, esta mezcla se endurece en formaletas con la forma y dimensiones deseadas. El cuerpo del material consiste en agregado fino y grueso. El cemento y el agua interactúan químicamente produciendo una reacción química exotérmica de hidratación, para unir las partículas de agregado y conformar una masa solida. Es necesario agregar agua además de la que se requiere para la reacción química, con el objetivo de darle a la mezcla la trabajabilidad adecuada que permita llenar las formaletas y rodear el acero de refuerzo embebido, antes de que inicie el endurecimiento.

Se pueden obtener concretos en un amplio rango de propiedades ajustando apropiadamente las proporciones de los materiales constitutivos. Un rango todavía más amplio de propiedades puede obtenerse mediante la utilización de cementos especiales (cementos de alta resistencia inicial), agregados especiales (los diversos agregados ligeros o pesados), aditivos (plastificantes y agentes incorporadores de aire, micro sílice o cenizas volantes) y mediante métodos especiales de curado (curado al vapor).

Las propiedades del concreto dependen en gran medida de la calidad y proporciones de los componentes en la mezcla, el cuidado con el cual se mezclan los diferentes materiales constitutivos, y de las condiciones de humedad y temperatura, durante los procesos de fabricación y de fraguado hasta que se encuentre totalmente endurecido (*curado*).

El concreto, es el material de construcción universal debido a diversos factores más que evidentes. Entre los principales factores tenemos; plasticidad, consiste en la facilidad con la cual puede depositarse y llenar moldes de cualquier forma, mientras se encontrara en estado plástico. Su elevada resistencia al fuego y al clima. Su bajo costo pues la mayoría de los elementos constitutivos, a excepción del cemento y aditivos, están disponibles a bajo costo, pudiendo encontrárselos localmente y en ocasiones muy cerca al lugar de la obra o

construcción. Además de estos factores ofrece otros tales como su versatilidad, No necesita calor para su fabricación, diferentes métodos de construcción, fragua, endurece y adquiere resistencia, continuidad, buena durabilidad, reparación y adaptación.

Al igual que las piedras naturales no deterioradas, el hormigón es un material sumamente resistente a la compresión, pero extremadamente frágil y débil a solicitaciones de tracción. Para aprovechar sus fortalezas y superar sus limitaciones, en estructuras se utiliza el hormigón combinado con barras de acero resistente a la tracción, lo que se conoce como *concreto armado*, o combinado con cables tensados de acero de alta resistencia, lo que se identifica como *concreto pretensado o pre esforzado*.

2.1.1. Concreto recién mezclado

El concreto recién mezclado, debe ser plástico o semifluido y generalmente capaz de ser moldeado a mano. En una mezcla plástica de concreto todos los granos de arena y las partículas de grava o piedra son envueltos y sostenidos en suspensión. Los ingredientes no son propensos a la segregación durante el transporte; y cuando el concreto se endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes. Durante la colocación, el concreto de consistencia plástica no se desmorona, mas fluye lentamente sin segregarse.

Mezclado.- La figura 2.1 muestra los componentes básicos del concreto en forma separada. Son necesarios esfuerzo y cuidado para que se asegure que la combinación de los componentes básicos del concreto, sea homogénea. La secuencia de carga de los componentes en la mezcladora (hormigonera), puede desempeñar un papel importante en la uniformidad del producto acabado. Más sin embargo la secuencia puede variar y aun producir un concreto de buena calidad. Las diferentes secuencias requieren ajustes en el momento de la adición de agua, el tiempo transcurrido entre el proporcionamiento y el mezclado, etc.

Trabajabilidad.- La facilidad de colocación, consolidación acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación se llama trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable pero los componentes no deben separarse durante el transporte y el manejo. El grado de la trabajabilidad que se requiere para una buena colocación del concreto se controla por los métodos de colocación, tipo de consolidación y tipo de concreto. Los diferentes tipos de colocación requieren diferentes niveles de trabajabilidad.

Los factores que influyen en la trabajabilidad del concreto son:

- El método y la duración del transporte.
- Cantidad y características de los materiales cementantes.
- Consistencia del concreto (asentamiento en **Cono de Abrams** o revenimiento)
- Tamaño y forma y textura superficial de los agregados (finos y gruesos)
- Cantidad de agua.
- Temperatura del concreto y del aire
- Aditivos.

Las propiedades relacionadas con la trabajabilidad incluyen consistencia, segregación, movilidad, bombeabilidad, sangrado (exudación), y facilidad de acabado. La consistencia es considerada una buena indicación de trabajabilidad. El revenimiento (asentamiento en **Cono de Abrams**) se usa como medida de la consistencia y de la humedad del concreto, así un concreto de bajo revenimiento, tendrá consistencia rígida o seca, por tanto la colocación y compactación serán difíciles y las partículas más grandes de agregados pueden separarse de la mezcla. Contrario a esto si la mezcla es muy húmeda, pueden ocurrir segregación y formación de huecos. La consistencia debe ser lo más seca posible para que aun se permita la colocación mediante equipos de consolidación.



Figura 2.1 Mezclado de los componentes del concreto.

(Fuente: temas de H°A° “escuela politécnica del ejercito de Ecuador”)

Sangrado y asentamiento.- Sangrado (exudación), es el desarrollo de una lámina de agua en el tope o en la superficie del concreto recién colocado. Es causada por la sedimentación (asentamiento) de las partículas solidas (cemento y agregados) y simultáneamente la subida

del agua hacia la superficie. El sangrado es normal y no debería disminuir la calidad del concreto. Un poco de sangrado es útil en el control de fisuración por contracción (retracción) plástica. Por otro lado, si es excesiva aumenta la relación agua-cemento cerca de la superficie; puede producir una capa superficial débil y con poca durabilidad, particularmente si se hace el acabado cuando el agua de sangrado aun está presente, pudiendo ocurrir vacíos y bolsas de agua.

El uso de agregados de granulometría adecuada, ciertos aditivos químicos, aire incluido, materiales cementantes suplementarios y cementos más finos reducen el sangrado. El concreto usado para rellenar vacíos, proporcionar soporte a proporcionar impermeabilidad con una buena adhesión debe presentar bajo sangrado para evitar formación de bolsas de agua.

Consolidación.- La vibración mueve las partículas del concreto recién mezclado, reduce el rozamiento (fricción) entre ellas y les da la movilidad de un fluido denso. La vibración permite el uso de mezclas más rígidas con mayores proporciones de agregado grueso y menores proporciones de agregados finos. Si el agregado está bien graduado, cuanto mayor es su tamaño máximo, menor es el volumen para llenarse por la pasta y menor es el área superficial para ser cubierta por la pasta, así menos agua y cemento son necesarios.

El concreto con granulometría óptima del agregado, es más fácil de consolidarse y colocarse. La consolidación del agregado grueso, bien como mezclas más rígidas mejora la calidad y la economía. Por otro lado, la mala consolidación puede resultar en un concreto poroso y débil con poca durabilidad.

Hidratación, tiempo de fraguado y endurecimiento.- La calidad de unión (adhesión, adherencia) de la pasta de cemento portland se debe a las reacciones químicas entre el cemento y el agua, conocidas como hidratación.

El cemento portland no es un compuesto químico sencillo, es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos (silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroatluminato tetracálcico), totalizan 90% o más del peso del cemento portland. Cada tipo de cemento portland contiene los mismos cuatro compuestos principales, pero en proporciones diferentes.

Los dos silicatos de calcio, los cuales constituyen 75% del peso del cemento portland, reaccionan con el agua para formar dos compuestos hidróxido de calcio y silicato de calcio hidratado (hidrato de silicato de calcio). Este último es, sin duda, el más importante compuesto del concreto. Las propiedades de ingeniería del concreto; fraguado y endurecimiento, resistencia y estabilidad dimensional, dependen principalmente del silicato de calcio hidratado.

En pastas endurecidas de cemento, el silicato de calcio hidratado forma un vínculo denso entre las otras fases cristalinas y los granos de cemento aun no hidratados; también se adhiere a los granos de arena y a los agregados gruesos, cementándolo todo junto.

El conocimiento de la velocidad de reacción entre el cemento y el agua es importante porque determina el tiempo de fraguado y endurecimiento. La reacción inicial debe ser suficientemente lenta para que haya tiempo para transportar y colocar el concreto. Una vez el concreto haya sido colocado y acabado, es deseable un endurecimiento rápido. La finura del cemento, aditivos, cantidad de agua adicionada y temperatura de los materiales en el momento de la mezcla son otros factores que influyen en la tasa (velocidad) de hidratación.

2.1.2. Concreto endurecido

Curado.- El aumento de la resistencia con la edad continua desde que (1) el cemento no hidratado aun este presente, (2) el concreto permanezca húmedo o la humedad relativa del aire este arriba de aproximadamente 80% (3) la temperatura del concreto permanezca favorable y (4) haya suficiente espacio para la formación de los productos de hidratación. Cuando la humedad relativa dentro del concreto baja hasta cerca de 80% o la temperatura del concreto baja a menos de cero, la hidratación y la ganancia de resistencia se interrumpen.

Se recomienda aplicar el curado húmedo continuamente desde el momento de la colocación hasta que el concreto se haya alcanzado la calidad deseada; una vez que el concreto se haya secado completamente es difícil volver a saturarlo.

En la figura 2.2 se ve que cuanto mayor es el periodo en que el concreto tiene acceso a la humedad luego del colocado, mayor será la resistencia que se obtenga.

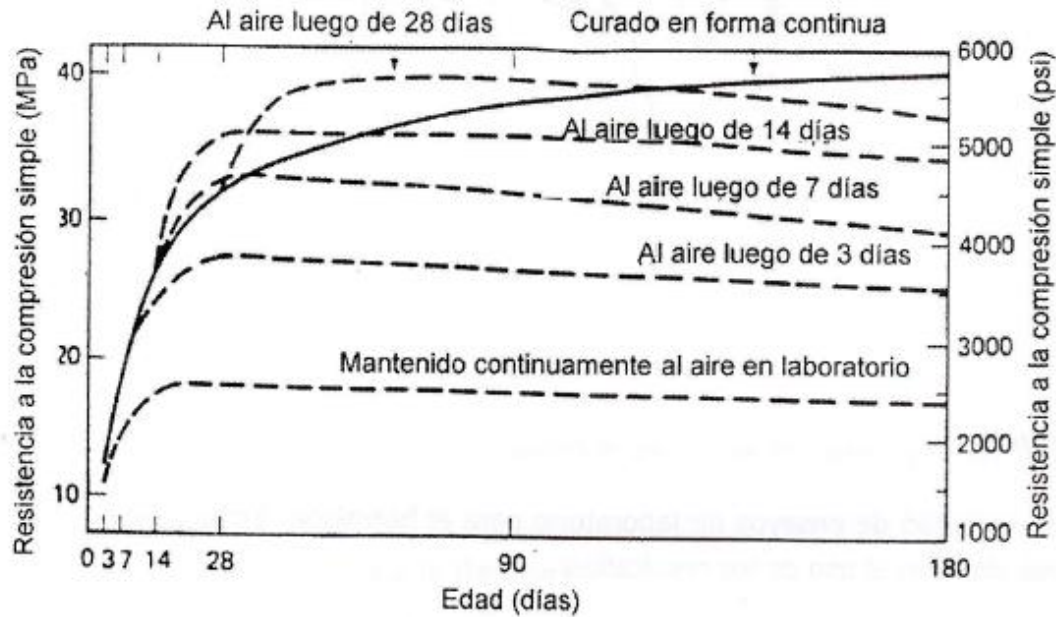


Figura 2.2 Resistencia a la compresión simple con hormigón secado al aire luego de periodos de curado.

(Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO-93 traducción y adaptación IBCH)

Velocidad de secado del concreto.- El concreto no se endurece o se cura con el secado. El concreto (o más precisamente el cemento en el) necesita de humedad para hidratarse y endurecerse. Cuando el concreto se seca, la resistencia para de crecer, el hecho es que el secado no indica que haya ocurrido suficiente hidratación par que se obtengan las propiedades físicas deseables.

El conocimiento de la velocidad de desecación (tasa de secado) es útil para el entendimiento de las propiedades o condiciones físicas del concreto. Los concretos recién colocados normalmente tienen abundancia de agua, pero a medida que el secado progresa de la superficie hacia el interior del concreto, el aumento de resistencia continúa solo hasta cada profundidad, desde que la humedad relativa en aquella profundidad permanezca arriba de los 80%. Así también, al secarse, el concreto se retrae por la pérdida de agua, de la misma manera que la madera y la arcilla. La contracción (retracción) por secado es la principal causa de fisuración y el ancho de las fisuras (grietas, rajaduras) es función del grado de desecación, espaciamiento y frecuencia de las fisuras y edad de la aparición de fisuras.

Muchas propiedades del concreto endurecido también son afectadas por la cantidad de humedad, tales como elasticidad, fluencia (flujo plástico, deformación deferida), valor del aislamiento, resistencia al fuego, resistencia a abrasión, conductividad eléctrica, resistencia al congelamiento, resistencia al descascaramiento (descascarillado, astilladura, despostilladura y desmoronamiento) y resistencia a reactividad álcali-agregado.

Resistencia.- La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados (kg/cm^2), mega pascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas (lb/plg^2 o psi) a una edad de 28 días. Se pueden usar otras edades para pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 7 días normalmente se estima como 75% de la resistencia a los 28 días y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente 10% y 15% mayores que la resistencia a los 28 días.

La resistencia a compresión que el concreto logra, es función de la relación agua-cemento (o relación agua-materiales cementantes), de cuanto la hidratación ha progresado, del curado, de las condiciones ambientales y de la edad del concreto.

La resistencia a compresión es aceptada de forma universal como una medida de la calidad y durabilidad del concreto. Esto es, un concreto de alta resistencia a la compresión simple es un hormigón de buena calidad. Esa resistencia depende del tamaño y tipo de agregado, forma del agregado grueso, composición del cemento, relación agua/cemento, aditivos incorporados, tiempo y temperatura de curado, etc. Esta se obtiene a través del ensayo ASTM C39. Se usan probetas de 30cm (12") de alto y 15 cm (6") de diámetro. Son sometidas a compresión hasta que se rompen.

La resistencia a flexión o el modulo de ruptura (rotura), es un parámetro importante en el diseño de pavimentos u otras losas sobre el terreno. Es la medida del esfuerzo en la fibra extrema que se desarrolla al someter una viga a la flexión. Se la determina mediante el ensayo en el cual se rompen vigas prismáticas con cargas en el tercio central.

Resistencia de abrasión.- Los pisos, pavimentos y estructuras hidratadas son expuestos a abrasión o al desgaste, por lo que en estas aplicaciones el concreto necesita tener alta resistencia a abrasión. Los resultados de los ensayos indican que la resistencia a abrasión está fuertemente relacionada con la resistencia a compresión del concreto. Un concreto con

mayor resistencia a compresión tiene más resistencia a abrasión que el concreto con menor resistencia a compresión. Como la resistencia a compresión depende de la relación agua-cemento y curado, una relación agua-cemento baja y el curado adecuado se hacen necesarios para la resistencia a abrasión. El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento usado también tienen gran influencia sobre la resistencia a abrasión. Un agregado duro es más resistente a abrasión que un agregado más blando. Los ensayos para determinar la resistencia a abrasión del concreto son (ASTM C779), (ASTM C418 y C944).

Estabilidad de volumen y control de fisuración (agrietamiento).- El concreto endurecido cambia de volumen con los cambios de temperatura, humedad y tensiones. Este cambio de volumen o de longitud puede variar del 0.01% al 0.08%.

El concreto bajo tensión (esfuerzo), va a ocurrir una deformación adicional llamada fluencia (deformación diferida, flujo plástico). El concreto mantenido continuamente húmedo se expande ligeramente. Pero cuando se permite su secado, el concreto se retrae. El factor que más influye en la magnitud de la contracción (retracción) por secado es el contenido de agua en el concreto recién mezclado. La contracción por secado aumenta directamente con el aumento del contenido de agua. La magnitud de la contracción también depende de muchos otros factores, tales como; (1) la cantidad de agregado usado, (2) propiedades del agregado, (3) el tamaño y la forma del miembro del concreto, (4) la humedad relativa y la temperatura del medio ambiente, (5) el método de curado, (6) el grado de hidratación y (7) el tiempo.

Las dos causas básicas de la fisuración en el concreto son: (1) las tensiones por la aplicación de carga y (2) las tensiones resultantes de la contracción por secado o cambios de la temperatura cuando el concreto tiene alguna restricción (coacción, sujeción, fijeza).

La contracción por secado no puede evitarse, pero se usa la armadura (refuerzo) adecuadamente posicionada para reducirse el largo de las grietas o entonces se usan juntas para predeterminar y controlar la localización de las fisuras.

2.1.3. Materiales constituyentes

2.1.3.1. Cementos

Son los conglomerantes hidráulicos más importantes, siendo aquellos materiales que, amasados con el agua, fraguan y endurecen, tanto expuestos al aire como sumergidos en

agua, además tienen las propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados inertes y conformar una masa sólida y continua, de resistencia y durabilidad adecuadas.

Para fabricar hormigón estructural se utiliza únicamente los cementos hidráulicos (utilizan agua para reaccionar químicamente y adquirir sus propiedades cementantes durante los procesos de endurecimiento inicial y fraguado). Entre los diferentes cementos hidráulicos destaca, por su uso extendido, el cemento portland, existiendo además los cementos naturales y los cementos con alto contenido de alúmina.

El cemento dentro de la estructura del hormigón cumple las siguientes funciones:

- Llenar huecos entre partículas del árido, aglomerándolas. Lubrica y da cohesión al hormigón en estado fresco.
- Proporciona resistencia al hormigón endurecido, dependiendo de:
 - Razón agua/cemento
 - Tipo de cemento
 - Condiciones de curadoen estado endurecido
- Da impermeabilidad al hormigón endurecido, al taponar huecos entre los granos de árido en condiciones de servicio.

De acuerdo a la AASHTO reconoce ocho clases de cemento: (1) Tipo I-Normal, (2) tipo I-a similar al I, pero con aire incorporado, (3) tipo II moderado calor de hidratación, moderada resistencia a la acción de los sulfatos, (4) tipo II-a similar al tipo II, pero con aire incorporado, (5) tipo III de alta resistencia inicial, (6) tipo III-a similar al III, pero con aire incorporado, (7) tipo IV bajo calor de hidratación, lento incremento de la resistencia y (8) tipo V alta resistencia a los sulfatos.

En Bolivia se producen cementos (1) tipo I o cementos con adiciones IP con puzolana e IF con filler calizo y (2) cementos con características especiales, los cuales pueden tener propiedades especiales, como resistencia a sulfatos, bajo calor de hidratación y cemento blanco.

Componentes de los cementos.- A continuación se indican los componentes de los cementos que, dosificados en distintas proporciones y molidos conjuntamente, dan origen a los distintos tipos de cementos:

- Clínker portland: resultado de la calcinación hasta fusión parcial de mezclas muy íntimas de calizas y arcillas, hasta conseguir la combinación prácticamente total de sus componentes.
- Clínker aluminoso: igual que el Clínker portland pero sustituyendo parcialmente las arcillas por bauxita que da lugar a un porcentaje mayor del 36% de alúmina.
- Escorias siderúrgicas (S): material procedente del enfriado brusco con agua o aire, de la ganga procedente de procesos siderúrgicos.
- Puzzolanas naturales (P): Principalmente son rocas tobáceas o volcánicas, finamente divididas no poseen ninguna propiedad hidráulica, pero contienen constituyentes (sílice y alúmina) capaces de fijar cal a la temperatura ambiente en presencia de agua, formando compuestos de propiedades hidráulicas.
- Cenizas volantes (V): residuos sólidos obtenidos por precipitación electrostática o por captación mecánica, de las cenizas de centrales termoeléctricas alimentadas con carbón pulverizado.
- Humo de sílice (D): resultado de la reducción de sílice de alta pureza con carbón en hornos de arco eléctrico, recogándose mediante filtro electrostático.
- Fílleres calizos (L): carbonato cálcico en forma de calcita en porcentajes superiores al 85%, que molidos conjuntamente con el Clínker portland, en proporciones determinadas, afectan favorablemente a las propiedades y comportamiento de los morteros y concretos, tanto frescos como endurecidos.
- Reguladores de fraguado: materiales naturales o artificiales que adicionados al Clínker portland y a otros constituyentes del cemento, en pequeñas proporciones, y molidos conjuntamente, proporcionan cementos con fraguado adecuado. Siendo el más usado el sulfato cálcico.
- Aditivos de cementos: Son productos que pueden emplearse en la fabricación de del cemento, para facilitar el proceso de molienda o bien para aportar al cemento o a sus derivados algún comportamiento específico (inclusión de aire). No debiendo confundirse con los aditivos del hormigón.

Prescripciones químicas de los cementos.- Son las limitaciones impuestas por la normativa referente a las limitaciones en porcentaje de los distintos componentes y sobre todo de algunos elementos agresivos. Se presentan en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Especificaciones químicas del cemento

Requisitos	Porcentaje	Método de ensayo a
Trióxido de azufre (SO ₃)	4.0	Métodos de Ensayo para análisis de cementos hidráulicos.
Perdida al fuego	5.0	
Residuos insolubles.	3.0	

Fuente: Hormigones Ingeniería de Edificación basado en Norma EHE

Prescripciones físicas y mecánicas de los cementos.- Las características físicas y mecánicas más importantes son: fraguado, expansión, finura y resistencia a compresión.

a) Fraguado y endurecido.- El proceso en el cual el cemento en contacto con el agua va perdiendo plasticidad en muy poco tiempo hasta llegar a solidificarse se conoce con el nombre de fraguado. En efecto el fraguado es la etapa que va entre el momento de añadir agua al cemento, perdiendo plasticidad paulatinamente hasta poder soportar sin dejar huellas aparentes, la presión suave de un objeto exterior. La primera parte se conoce como fraguado inicial y la segunda como fraguado final, en cambio el endurecimiento es la mayor resistencia estructural que va adquiriendo en el transcurso del tiempo. Las especificaciones establecen que los cementos deben de tener un tiempo de fraguado inicial mayor a 45 minutos y un fraguado final menor a 10 horas, a partir del amasado. Ambos conceptos fraguado y endurecimiento se define de un modo convencional, mediante la aguja de Vicat, ya que el fraguado es un proceso continuo que se inicia al amasar el cemento y se prolonga hasta el endurecimiento. Las penetraciones de de la aguja de Vicat sobre una probeta de cemento, en función del tiempo, dan una idea del proceso de fraguado. Como resultado del ensayo puede dibujarse un diagrama como el indicado por la figura 2.3.

El fraguado está influenciado por distintos factores, así pues será tanto o más corto y rápido en su comienzo cuanto más elevada es la finura del cemento. La presencia de materia orgánica (del agua o los áridos) retrasa el fraguado y puede llegar a inhibirlo. La meteorización de este (almacenamiento prolongado) aumenta la duración del fraguado. A menor cantidad de agua de amasado, así como a mayor sequedad del aire del ambiente, corresponde un fraguado más corto.

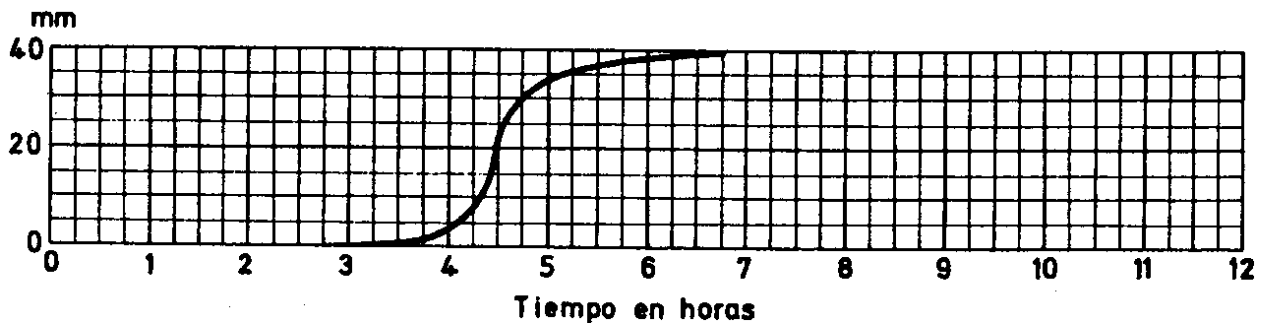


Figura 2.3. Curva de fraguado de un cemento
(Fuente: Hormigón Armado de Jiménez Montoya)

b) Expansión.- Es esencial que la pasta de cemento, una vez fraguada no sufra gran cambio de volumen. En particular, no debe haber una expansión apreciable, la cual, bajo condiciones de esfuerzos, podrá ocasionar un rompimiento de la pasta de cemento endurecido. Tal expansión puede tener lugar debido a una hidratación retardada o lenta, o a otra reacción de algún compuesto presente en el cemento endurecido, particularmente cal libre, magnesia o sulfato de calcio. Según normas, la expansión de cualquier tipo de cemento no debe ser superior a 10 milímetros.

c) Finura.- Se la define como la medida o tamaño de las partículas que componen el cemento, es decir la cantidad de área expuesta al contacto con el agua en una determinada cantidad de cemento y se expresa en cm^2/gr .

Es una característica íntimamente ligada al valor hidráulico del cemento, y que influye decisivamente en la velocidad de las reacciones químicas que tienen lugar durante su fraguado y primer endurecimiento.

Esta es una propiedad muy importante que deber tener el cemento ya que de esto depende la correcta hidratación al contacto del agua, dado que esta penetra hasta 0.01 mm, por lo que, si dichos granos fuesen muy gruesos su rendimiento sería muy pequeño al quedar en su interior un núcleo prácticamente inerte ya que en la parte central no alcanzaría el agua.

Por lo tanto es evidente que cuanto más fino sea un cemento, mejores serán sus propiedades mecánicas, sin embargo se llega a un situación comprometida pues si el cemento es molido en exceso este se deteriorara más rápido.

Para determinar la finura de molido existen varios métodos de siendo el más conocido el de la superficie específica de Blaine, consistente en determinar la superficie de un grano de cemento cuyas partículas estuviesen totalmente sueltas, la superficie específica de Blaine de los distintos tipos de cementos está comprendida, generalmente, entre 2.500 y 4.000 cm^2/gr .

d) Resistencia mecánica.- Se mide en mortero normalizado con una arena de granulometría normalizada y una relación A/C=0.5. La probeta es prismática de 4x4x16 y se ensaya a flexo tracción a 2.7 días y compresión posterior de los trozos resultantes a 28 días.

Recordar la clasificación según clase de cualquier forma, la mejor medida de la calidad y características de un cemento es la resistencia característica del hormigón resultante.

Tabla 2.2. Especificaciones físicas del cemento

Requisitos	Método de ensayo a utilizar
Finura (superficie específica) en cm^2/g :	Método de ensayo aparato de Blaine de
Estabilidad del volumen:	Método de ensayo para determinar la
Tiempo de fraguado:	Método de ensayo: aguja de Vicat
Calor de hidratación:	Método de ensayo para determinar el calor
Resistencia a la compresión, en kg/cm^2 :	Método de ensayo para, determinar la

Fuente: Hormigones Ingeniería de Edificación basado en Norma EHE

2.1.3.2. Agua:

Agua de mezclado o amasado.- Es aquella que se utiliza en la elaboración del hormigón la cual juega un doble papel en el hormigón. Por una parte, participa en las reacciones químicas de hidratación del cemento (dándole la característica de fraguar), y por otra parte, le confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra.

La cantidad debe ser la estrictamente necesaria (importante el control de la relación A/C) ya que un exceso de agua se evapora y crea una serie de huecos y capilares que disminuyen la resistencia del hormigón además de actuar como un retardador. Por el contrario, un defecto de agua da lugar a una incorrecta hidratación del cemento, concretos duros poco trabajables, difíciles de poner en obra.

El agua de mezclado o amasado puede ser toda agua natural apta para consumo humano, con excepción de aguas de alta montaña, que por su alto grado de pureza, les confiere carácter agresivo. Por el contrario algunas aguas insalubres, también pueden ser utilizadas, como es el caso de aguas de residuos industriales, aguas pantanosas, etc. Siempre que el análisis de estas, estén dentro de los rangos admisibles.

Agua de curado.- El agua de curado durante el proceso de fraguado y el primer endurecimientos del hormigón, tiene por objeto evitar la desecación superficial, mejorar la hidratación del cemento e impedir una retracción prematura, que se producen por pérdidas de agua de evaporación, creándose una serie de huecos o capilares en el hormigón que disminuye su resistencia. Para compensar estas pérdidas y permitir que se desarrollen nuevos procesos de hidratación, ya que no todas las partículas de cemento se hidratan totalmente, quedando núcleos inertes envueltos superficialmente; el hormigón debe curarse con abundante agua.

Control y propiedades del agua en el concreto.- Ambas aguas deben ser adecuadas, y cumplir ciertas condiciones para desempeñar eficazmente su función, considerándose generalmente al agua buena para el mezclado lo es igual para el curado.

La potabilidad es un buen índice de la calidad del agua por su aptitud para el hormigón. Una excepción es la de aguas muy puras de alta montaña que son agresivas al hormigón.

Hay que tener cuidado con agua ácidas ($\text{pH} < 5$) y con aguas con un alto contenido orgánico (grasas, aceites, etc.) así como con aguas con finos en suspensión pues disminuyen la adherencia pasta-árido.

Los cloruros son muy peligrosos por su acción a largo plazo. Cuando existan debe aumentarse apreciablemente la dosificación de cemento $C > 350 \text{ Kg/m}^3$.

Cuando el hormigón vaya a estar en contacto con el agua de mar es necesario amasar con agua dulce para impedir la aparición de fraguados inmediatos. (Conveniente también utilizar cementos especiales).

Cuando el agua contiene materias solidas en suspensión (limos, arcillas), solo se permitirán el uso cuando no sobrepasen de las 2.000 ppm, en cantidades mayores estos finos disminuyen notablemente la adherencia pasta-árido.

Tabla 2.3 Especificaciones del agua para el concreto

		limitación	Riesgos	observaciones
Exponente de hidrogeno PH (UNE 7234:71)		≥ 5	Altera el fraguado y el endurecimiento Disminuye la resistencia y durabilidad.	Con cementos aluminosos no utilizar PH>8
Sustancias Disueltas (UNE: 7130:58)		≤ 15 gr. Por litro (15.000 p.p.m)	Eflorescencias Menor resistencia Fenómenos expansivos a largo plazo	
Contenido de sulfatos, SO4 (UNE: 7131:58) Excepto para el cemento SR en que se eleva este limite a 5 gr por litro (5000 p.p.m)		≤ 1 gr. Por litro (1.000 p.p.m)	Alteraciones en fraguado y endurecimiento. Pérdida de resistencias Afecta a la durabilidad.	Se debe ser muy estricto con el agua de curado. La proporción puede aumentar para CEM-RS
Ion cloruro, Cl (UNE: 7178:60)	Para hormigón pretensado	≤ 1 gr. Por litro (1.000 p.p.m)	Corrosión de armaduras	Puede aumentar para HM
	Para hormigón armado o en masa que contenga armaduras para reducir fisuración	≤ 3 gr. Por litro (3.000 p.p.m)	otras	
Hidratos de carbono (UNE: 7132:58)		0	El hormigón no fragua	La sacarosa y la glucosa alteran el endurecimiento
Sustancias orgánicas solubles en éter (UNE: 7235:71)		≤ 15 gr. Por litro (15.000 p.p.m)	Graves alteraciones en fraguado y endurecimiento. Fuertes caídas en resistencias.	Ensayo de presencia de aceites, grasas, humus,... Cuidando con la materia orgánica de la arena.

Fuente: Hormigones Ingeniería de Edificación basado en Norma EHE

2.1.3.3. Áridos

Llamados también agregados, son un conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por norma. Los agregados pueden constituir hasta las tres cuartas partes en

volumen, el volumen restante está constituido por pasta endurecida de cemento, agua sin combinar y burbujas de aire, en una mezcla típica de concreto.



Figura 2.4 Áridos o agregados (fino y grueso)

(Fuente: temas de H^oA^o “escuela politécnica del ejército de Ecuador”)

Como áridos para la confección de concretos pueden emplearse arenas y gravas naturales (rodados) o procedentes de machaqueo, que reúnan las características de resistencia y durabilidad que se le exijan al hormigón. Los primeros proporcionan concretos más dóciles y trabajables, requiriendo menos cantidad de agua que los machacados. Los machacados confieren al hormigón fresco una cierta dificultad de puesta en obra, en cambio proporcionan una mayor trabazón reflejada en una mayor resistencia del concreto. Los mejores son los áridos silíceos o provenientes de rocas volcánicas debiendo tenerse cuidado con las calizas y demás rocas blandas.

Los áridos rodados aumentan la trabajabilidad y necesitan menos agua mientras que los de machaqueo dan lugar a mayores resistencias sobre todo a tracción y mayor estabilidad química.

La arena es el árido esencial y probablemente el componente con mayor influencia en el comportamiento final del hormigón. Las mejores arenas son las de río o de mar, lavadas con agua dulce. También los habituales las arenas de machaqueo provenientes de rocas volcánicas. De nuevo hay que tener cuidado con las arenas que provengan de rocas blandas.

Es conveniente limpiar los áridos para eliminar los finos que alteran la hidratación del cemento y sobre todo incrementan la retracción. Ésta disminuye cuando aumenta el tamaño de los áridos y también cuando los áridos son más resistentes.

Asimismo es necesario cuidar las condiciones de almacenamiento. Los áridos no deben ser activos frente al cemento debiendo tenerse especial cuidado con los sulfuros oxidables que pasan a ácido sulfúrico y óxido ferroso con gran aumento de volumen. Además deben ser estables y no deben incluir materia orgánica.

Características físico-químicas y mecánicas de los áridos

a) Granulometría de los áridos.- La distribución granulométrica de los distintos tamaños de los granos que componen un árido tiene una importancia decisiva en las características del hormigón. El estudio de dicha distribución suele efectuarse mediante la curva granulométrica, que se determina cribando el árido a través de una serie normalizada de cribas y tamices. Una vez efectuado el cribado del árido, puede dibujarse su curva granulométrica.

Los áridos empleados en la preparación del hormigón se obtienen, normalmente, mezclando arenas y gravas en proporciones adecuadas, o mejor aún, tres o más grupos de distintos tamaños. No es posible establecer, de una manera general, una curva granulométrica óptima única, debido a que en cada caso hay que tener en cuenta diversos factores: las resistencias y propiedades exigidas al hormigón; los medios de transporte, puesta en obra y compactación del hormigón; las propiedades y forma de los granos; el tipo y dimensiones del elemento estructural, etc.

Los parámetros que determinan las características granulométricas de un árido son, fundamentalmente, tres;

El tamaño máximo de árido.- Mayores tamaños máximos implican menor cantidad de agua y cemento del hormigón para conseguir resistencias adecuadas, pero está limitado por las disposiciones relativas a las distancias entre armaduras y dimensiones de los elementos estructurales influyendo también los medios de amasado y puesta en obra.

La compactidad.- es la relación entre su volumen real y su volumen aparente, relación que aumenta con el coeficiente de forma de la grava. Se consigue con pequeños porcentajes de arena añadidos y, sobre todo con granulometría bien graduadas. Cuanto mayor es la compactidad menor cantidad de cemento para alcanzar resistencias elevadas pero, sin embargo, la trabajabilidad del hormigón resultante es menor y que se disgregan con

facilidad, resultando pues adecuadas las granulometrías muy compactas para concretos de alta resistencia para los que se dispone medios de vibrado adecuados.

El porcentaje de finos.- por otra parte para que una masa de hormigón sea dócil, trabajable y no se disgregue durante el transporte, puesta en obra y compactación, debe tener un contenido optimo de granos finos. Al aumentar el contenido de granos finos, disminuye la compacidad del árido y será necesario aumentar las cantidades de cemento y agua del hormigón. los granos de dimensiones menores de 0,25 mm, son esenciales para conseguir concretos trabajables y altas impermeabilidades (dimensiones pequeñas de piezas, altas densidades de armaduras, etc.).

b) Porosidad y absorción del agregado.- Los agregados presentan poros internos, que se dominan como "abiertos" cuando son accesibles al agua o humedad exterior, sin requisito de presión Diferenciándose de la porosidad cerrada, en el interior del agregado, sin canales de conexión con la superficie, a la que se alcanza mediante fluidos bajo presión. Cuando un agregado seco se introduce en un recipiente con agua, sus poros abiertos se llenan total o parcial mente, a diferente velocidad, según el tamaño y disposición del os mismos.

Si un agregado se colma en todos sus poros, se considera saturado y superficialmente seco. Si además la humedad se mantiene en la superficie, se le conoce como saturado superficialmente húmedo. En el caso de que se seque al aire, o artificialmente en horno, el contenido de humedad disminuirá, denominándose agregado seco al aire, o completa mente seco.

La porosidad y absorción de los áridos tiene una gran influencia en su adherencia con la pasta de cemento y por tanto, en las resistencias mecánicas del hormigón. Igualmente, influye en el comportamiento frente a los ciclos de hielo – deshielo y en definitiva a su durabilidad. La capacidad de absorción del agregado se determina por el incremento de peso de una muestra secada al horno, luego de 24 horas de inmersión en agua y de secado superficial. Esta condición se supone representa la que adquiere el agregado en el interior de una mezcla de concreto.

La EHE-08 exige que la absorción de agua por los áridos determinada según las normas UNE 83.133 y UNE 83.134 sea $\leq 5 \%$.

De las cuatro formas en que pueden encontrarse los áridos con respecto al agua: UNE 83.133. Seco, saturado en superficie seca, ligeramente húmedos, saturados estos absorben más agua al amasar el hormigón. Pueden estar además mojados, y cederán agua a los demás componentes del hormigón.

c) Peso específico.- El peso específico de los agregados, que se expresa también como densidad, conforme al Sistema Internacional de Unidades, adquiere importancia en la construcción, cuando se requiere que el concreto tenga un peso límite, sea máximo o mínimo. Además, el peso específico es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que el peso específico bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles, caso en el que es recomendable realizar pruebas adicionales.

Por su peso específico real se clasifican en:

- Áridos ligeros: peso específico real del grano $< 2 \text{ kg/dm}^3$
- Áridos normales: $2 \text{ kg/dm}^3 < \text{peso específico real del grano} < 3 \text{ kg/dm}^3$
- Áridos pesados: peso específico real grano $< 3 \text{ kg/dm}^3$

d) Resistencia mecánica.- Un mortero o un hormigón no pueden tener más resistencia a compresión que la que tienen los áridos que lo forman. Es difícil determinar las resistencias mecánicas de los áridos aislados y esto obliga a tener que realizar determinaciones indirectas, bien a través de probetas talladas de las rocas de las que proceden (UNE 83-111-87), bien determinando mediante un ensayo a compresión el índice de machacabilidad de un conjunto de áridos introducidos en un molde muy rígido (UNE 83-112-89), o bien mediante un ensayo a compresión de un hormigón confeccionado con los áridos a estudiar.

e) Desgaste.- Cuando los áridos van a utilizarse en obras en las que el hormigón va a estar sometido a desgaste o impacto, por ejemplo, en pavimentos, es importante conocer la tenacidad de estos y su resistencia al impacto, la cual puede determinarse mediante golpeo de un martillo de una masa dada cayendo desde una altura determinada y durante cierto número de veces sobre una muestra de árido contenida en un recipiente (UNE 83-114-89).

Conocer la dureza y resistencia al desgaste es también importante en determinados casos. Los ensayos empleados en su determinación pueden ser de abrasión en pista de acero o bien

de desgaste por rozamiento de unas partículas de roca contra otras. Uno de los métodos más empleados es el ensayo de los ángeles (UNE en 1097-2).

f) Forma.- La forma externa del árido tiene una gran influencia en algunas de las propiedades del hormigón fresco y endurecido, como puede ser entre otras, la docilidad y las resistencias mecánicas respectivamente. La forma del árido grueso se expresara mediante su índice de lajas, entendido como el porcentaje en peso de áridos considerados como lajas según UNE en 933-3, y su valor debe ser inferior a 35. La forma de los áridos tiene una gran influencia en la resistencia de los hormigones;

- Cuando se trata de áridos rodados se obtendrán hormigones tanto mejores cuanto más se aproximen a la forma esférica. En el caso de áridos de machaqueo, los mejores hormigones se obtendrán cuando la forma de los áridos difiera poco del cubo.
- Los hormigones serán de peor calidad cuando los áridos tengan forma laminar o acicular. Producen un hormigón poco manejable, con menos compacidad y por tanto disminuyen sus resistencias mecánicas.

g) Adherencia de la pasta al árido.- La adherencia de la pasta de cemento al árido depende de su forma, porosidad, naturaleza y especialmente de su estado superficial. La superficie del árido debe ser la adecuada. La presencia en ella de arcilla es nefasta debido a que contribuye a disminuir la resistencia a tracción por falta de adherencia. Su eliminación de hacerse por lavado.

Consideraciones sobre la adherencia:

- Es básica la adherencia perfecta entre los áridos y la pasta del cemento, sin ella no habría hormigón.
- Condiciones indispensables para conseguirla son una aspereza mínima en la superficie de los áridos, y una gran limpieza.
- No debe existir en la superficie de los granos películas de arcillas o materia orgánica. Tampoco polvo, cosa frecuente en los áridos de machaqueo, que se mezcla mal durante el amasado del hormigón.
- En caso de que existiesen estas u otras materias, es indispensable lavar el árido para eliminarlas, ya que de lo contrario se ven perjudicadas seriamente todas las

características del hormigón, y de un modo especial la resistencia a la tracción y la fragilidad.

h) Sustancias perjudiciales.- Los árido empleados en el hormigón pueden tener impurezas orgánicas que interfieran en el proceso de hidratación del cemento, finos que aumenten las exigencias de agua de amasado o disminuyan la adherencia de estos con la pasta de cemento repercutiendo por tanto de forma desfavorable en las resistencias, partículas débiles o alterables que contenidas en el árido lo hagan débil o inestable, o bien, compuestos que puedan reaccionar químicamente con los componentes del cemento. A los áridos pueden acompañarles sustancias que pongan en peligro la estabilidad del acero en el caso de hormigones armados o pretensados.

i) Contenido de humedad del agregado.- En los cálculos para el proporcionamiento del concreto se considera al agregado en condiciones de saturado superficialmente seco, es decir, con todos sus poros abiertos llenos de agua y libre de humedad superficial. Esta situación, que no es correcta en la práctica, conviene para fines de clasificación.

Como se sabe, el contenido de agua de la mezcla influye en la resistencia y otras propiedades del concreto. En consecuencia, es necesario controlar el dosaje de agua. Si los agregados están saturados y superficialmente secos no pueden absorber ni ceder agua durante el proceso de mezcla. Sin embargo, un agregado parcialmente seco resta agua, mientras que el agregado mojado, superficialmente húmedo, origina un exceso de agua en el concreto. En estos casos es necesario reajustar el contenido de agua, sea agregando o restando un porcentaje adicional al dosaje de agua especificado, a fin de que el contenido de agua resulte el correcto.

Todas las especificaciones tanto físico químicas como mecánicas de los áridos fino y grueso se detallan en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Especificaciones fisicoquímicos y mecánicas de los áridos

Propiedades del árido	Cantidad máxima en % del peso total de la muestra.	
	Árido fino	Árido grueso
Absorción del agua % Determinada con arreglo al método de ensayo indicado en UNE en 1097-6	5 %	5 %
Resistencia a la fragmentación del árido grueso, determinada con arreglo al método de ensayo indicado en UNE en 1097-2	-	40
Pérdida de peso % con cinco ciclos de sulfato magnesio. Determinada con arreglo al método de ensayo indicado UNE en 1367-2	-	18 %
<u>DUREZA:</u>		
Partículas blandas (UNE	-	< 5 %
Dureza de la arena	≤ 40	-
Desgaste del árido	-	≤ 40
<u>LIMPIEZA:</u>		
Terrones de arcilla (UNE 7.133)	< 1	< 0.25
Equivalente de arena (UNE 83.131)	> 75	-
Partículas ligeras (UNE 7.244)	< 0.5%	<1
<u>RESISTENCIA AL HIELO</u>		
Absorción de agua (UNE 83.133 y 83.134)	≤ 5 %	
Ciclos con sulfato sódico (UNE 7.136)	<10 %	< 15%
Ciclos con sulfato magnésico (UNE 7.136)	<12 %	<18 %
<u>SUSTANCIAS PERJUDICIALES</u>		
Compuesto de azufre (UNE 83.120)	< 0.4 %	< 0.4 %
Reactividad con álcalis (UNE 7.137)	NO	

(Fuente: Manual de consejos prácticos sobre el Hormigón Nacional Española de Fabricantes de Hormigón Preparado “ANFHOP”)

2.1.4. Dosificación del concreto

Factores a considerar a la hora de definir la dosificación de un hormigón: resistencia, tipo de obra, agresividad y condiciones climáticas, tamaño de la sección y distancia entre barras, tipo de compactación, exigencias especiales de puesta en obra (bombeo), acabado superficial, asentamiento, susceptibilidad a la exudación, etc. Con ello se procede a determinar: el tipo de cemento, el tamaño máximo del árido, el tipo de áridos y la consistencia deseada para el hormigón.

La dosificación de un hormigón tiene por objeto determinar las proporciones en que hay que mezclar los distintos componentes del mismo para obtener masas y concretos que reúnan las características y propiedades exigidas.

Los componentes de una mezcla se dosifican de manera que el concreto resultante tenga una resistencia adecuada, una manejabilidad apropiada para su vaciado y un bajo costo, buscando obtener aplicar la mínima cantidad de cemento así mientras mejor sea la gradación de los agregados, es decir, mientras menor sea el volumen de vacios, menor será la pasta de cemento necesaria para llenar estos vacios. Adicionalmente a medida que se aumenta agua, la plasticidad y fluidez de la mezcla aumentan (es decir, su manejabilidad mejora), pero su resistencia disminuye debido al mayor volumen de vacios creados por el agua libre. Para reducir el agua libre y mantener la manejabilidad, es necesario agregar cemento; de ahí que la relación agua cemento es el factor principal que controla la resistencia del concreto. Para una relación agua-cemento dada se selecciona la mínima cantidad de cemento que asegure la manejabilidad deseada.

Existen muchos métodos y reglas para dosificar teóricamente un hormigón, pero todos deben considerarse orientativos. Por ello, las proporciones definitivas de los componentes que resulten necesarias o convenientes. Actualmente y debido al gran desarrollo de la industria del hormigón preparado, elaborando y dosificando en central bajo condiciones bien controladas.

2.2. Generalidades de los pavimentos de concreto

Un pavimento, se define como una estructura vial, formada por una o varias capas de materiales seleccionados, el cual se construye sobre la sub-rasante, y que se debe caracterizar por:

- Resistir las cargas impuestas por el Tránsito vehicular.
- Soportar la acción del medio ambiente.
- Transmitir al suelo de fundación, esfuerzos y deformaciones tolerables.
- Proporcionar la circulación de los vehículos con rapidez, comodidad, economía y seguridad; lo cual conlleva a que sea una estructura durable y además, que presente una textura adecuada para el tráfico.

Los Pavimentos rígidos o de concreto están constituidos por una losa de concreto hidráulico de gran rigidez, la cual está apoyada sobre una capa de material seleccionado (Sub-base granular) o sobre la sub-rasante, en el caso de que sea granular; la transmisión de esfuerzos al terreno de soporte, se produce mediante un mecanismo de distribución de tensiones.

En un pavimento rígido, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

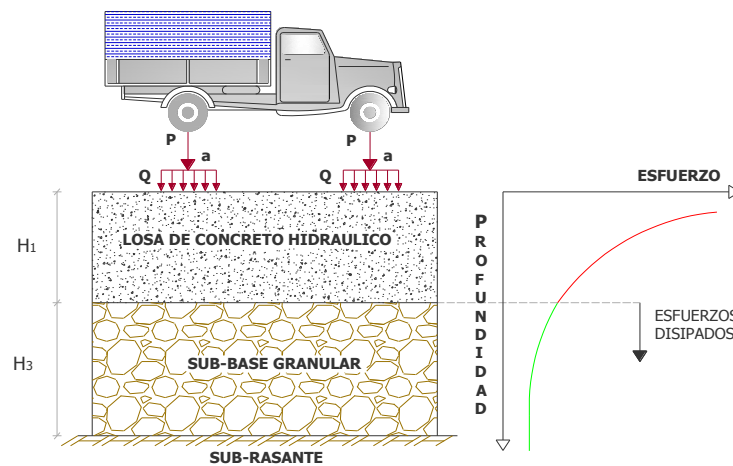


Figura 2.5 Mecanismo de distribución de cargas en pavimentos rígidos

Fuente: Introducción al soporte (Ing. Carlos Alberto Benavides)

2.2.1. Elementos que integran un Pavimento Rígido.

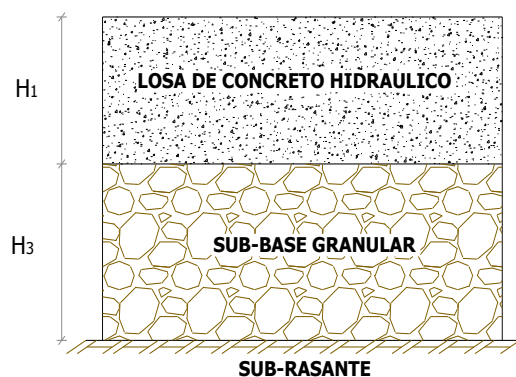


Figura 2.6 Capas que conforman un pavimento rígido

(Fuente: Introducción al soporte “Ing. Carlos Alberto Benavides”)

2.2.1.1. Subrasante.- Es la capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad tal que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. Su función es servir de soporte para el pavimento después de ser estabilizada, homogenizada y compactada. Dependiendo de sus características puede soportar directamente la capa de rodadura de un pavimento rígido.

El espesor de pavimento dependerá en gran parte de la calidad de la subrasante, por lo que ésta debe cumplir con los requisitos de resistencia, incompresibilidad e inmunidad a la expansión y contracción por efectos de la humedad, por consiguiente, el diseño de un pavimento es esencialmente el ajuste de la carga de diseño por rueda a la capacidad de la subrasante.

En general los materiales adecuados para la capa subrasante, son los suelos de preferencia granulares con porcentajes de hinchamiento según ensayos AASHTO T-193 y que no tengan características inferiores a los suelos que se encuentran en el tramo y además deben estar libres de material orgánico.

Especificaciones del material para subrasante.-

a) Valor soporte. El material debe tener un CBR, AASHTO T 193, mínimo del 3%, efectuado sobre muestras saturadas a 95% de compactación, AASHTO T 180, y deberá tener una expansión máxima del 3% en caso de no obtenerse debe acudir al mejoramiento de la sub-rasante. b) Graduación. El tamaño de las partículas que contenga el material de sub- rasante, no debe exceder de 7.5 centímetros. c) Plasticidad. El índice de plasticidad no será superior a un 10%, en lo posible.

2.2.1.2. Subbase granular.- Debe dar a la losa un apoyo óptimo es decir uniforme y estable a lo largo del tiempo de servicio de la estructura, controlando su deformabilidad y posibles cambios de volumen, controlando el fenómeno del bombeo, mediante el análisis de erosión, durante el diseño de la estructura. La deformación de la subbase granular de apoyo, produce salida de agua y de su material fino (bombeo de finos), produciendo la des compactación del apoyo y su erosión.

Se utiliza además como capa de drenaje y contralor de ascensión capilar de agua, protegiendo así a la estructura de pavimento, por lo que generalmente se usan materiales

granulares. Al haber capilaridad en época de heladas, se produce un hinchamiento del agua, causado por el congelamiento, lo que produce fallas en el pavimento, si éste no dispone de una subrasante o sub-base adecuada.

Especificaciones del material para subbase.- La capa de sub-base común, debe estar constituida por materiales de tipo granular en su estado natural o mezclados, que formen y produzcan un material que cumplan los requisitos siguientes.

- a) Valor soporte. El material debe tener un CBR, AASHTO T 193, mínimo de 30, efectuado sobre muestras saturadas a 95% de compactación, AASHTO T 180.
- b) Piedras grandes y exceso de finos. El tamaño de las piedras que contenga el material de sub-base, no debe exceder de 2/3 espesor de la capa. El material de sub-base según AASTHO T-11 y T-27., no debe tener más del 50% en peso, de partículas que pasen el tamiz #40 (0.425 mm), ni más del 25% en peso, de partículas que pasen el tamiz #200 (0.075 mm).
- c) Plasticidad y cohesión. El material de sub-base debe tener las características siguientes:
Equivalente de arena. No debe ser menor de 25%, determinado por el método AASHTO T 176. Plasticidad. La porción que pasa el tamiz #40 (0.425 mm), no debe de tener un índice de plasticidad AASHTO T 90, mayor de 6 ni un límite líquido, AASHTO T 89, mayor de 25, determinados ambos, sobre muestra preparada en húmedo, AASHTO T 146.
- d. Impurezas. El material de sub-base debe estar libre de materia orgánica, basura, terrones de arcilla, o sustancias que incorporadas dentro de la capa sub-base puedan causar fallas en el pavimento.

2.2.1.3. Carpeta de concreto hidráulico.- Las carpetas de concreto hidráulico, son las que se construyen mediante la colocación de una mezcla de agregados pétreos, cemento portland y agua, para proporcionar al usuario una superficie de rodamiento uniforme, bien drenada, resistente al derramamiento, cómoda y segura.

Es el elemento encargado de dar el aporte estructural del pavimento es su principal función, ya que del paquete de la estructural, es el único elemento que da resistencia. El parámetro de diseño, es el modulo de rotura además proporciona una superficie uniforme, estable y segura al tránsito e impermeabiliza la estructura del pavimento, aunque se debe ser muy estricto en el procedimiento de sellado de juntas.

2.2.1.4. Juntas.- Las juntas en los pavimentos de concreto son responsables del control del agrietamiento por efectos de retracción, expansión y alabeo, así como de mantener la capacidad estructural del pavimento y su calidad de servicio en los más altos niveles al menor costo anual.

Además las juntas tienen funciones más específicas, como lo son:

- El control del agrietamiento transversal y longitudinal provocado por las restricciones de contracción combinándose con los efectos de pandeo ó alabeo de las losas, así como las cargas del tráfico.
- Dividir el pavimento en incrementos prácticos para la construcción (por ejemplo los carriles de circulación).
- Absorber los esfuerzos provocados por los movimientos de las losas.
- Proveer una adecuada transferencia de carga.
- Darle forma al depósito para el sellado de la junta.

Tipos de juntas.- Los tipos de juntas más comunes en los pavimentos de concreto son:

Juntas Transversales de Contracción: Son las juntas que son construidas transversalmente al eje central del pavimento y que son espaciadas para controlar el agrietamiento provocado por los efectos de las contracciones como por los cambios de temperatura y de humedad.

Juntas Transversales de Construcción: Son las juntas colocadas al final de un día de pavimentación ó por cualquier otra interrupción a los trabajos (por ejemplo los accesos ó aproches a un puente).

Junta Transversal de Expansión/Aislamiento: Estas juntas son colocadas en donde se permita el movimiento del pavimento sin dañar estructuras adyacentes (puentes, estructuras de drenaje, etc.) ó el mismo pavimento.

Junta Longitudinal de Contracción: Son las juntas que dividen los carriles e tránsito y controlan el agrietamiento donde van a ser colados en una sola franja dos ó más carriles.

Junta Longitudinal de Construcción: Estas juntas unen carriles adyacentes cuando van a ser pavimentados en tiempos diferentes.

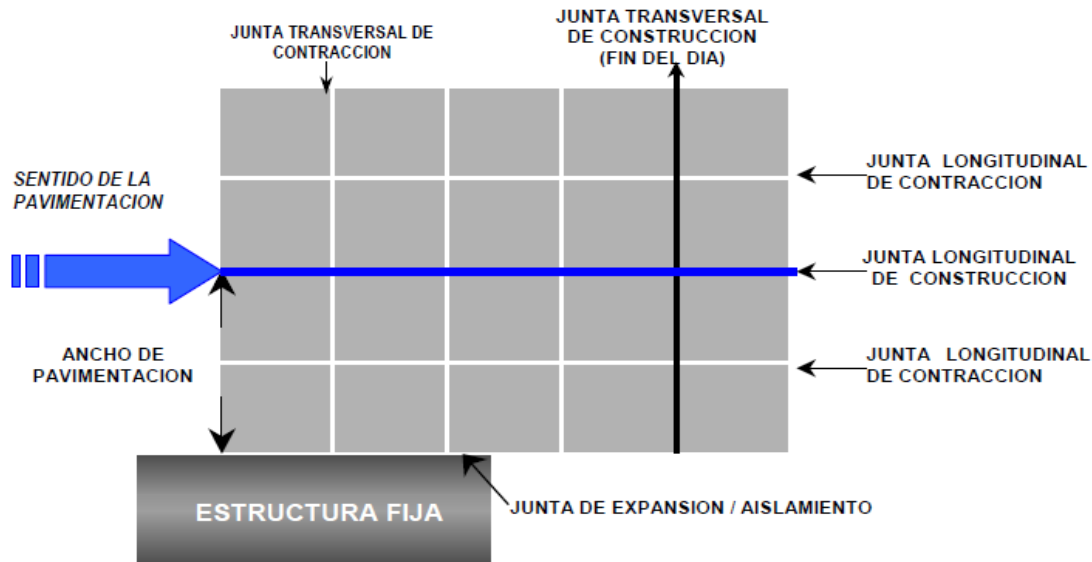


Figura 2.7 Croquis de los tipos de juntas en un pavimento de concreto.
(Fuente: diseño y construcción de juntas IMCYC)

2.2.2. Tipos de pavimentos de concreto

Los pavimentos de concreto pueden dividirse en tres tipos:

- Pavimentos de losas de concreto simple.
- Pavimentos de losas de concreto reforzado.
- Pavimentos de losas de concreto continuamente reforzado.

Pavimentos de losas concreto simple.- Este sistema utiliza placas de concreto sin refuerzo. No contiene armadura en la losa y el espaciamiento entre juntas de contracción transversal es en general construido a intervalos entre 3 y 6 m (figura 2.8), con el objetivo de controlar la figuración de las losas. Las juntas pueden o no tener dispositivos de transferencia de cargas (dovelas), que se colocan para asegurar la transferencia de carga entre estas; además se colocan barras de anclaje en las juntas longitudinales, en dirección perpendicular al eje de la vía.

Características.- Control de fisuras: se lleva a cabo con juntas de contraccion transversal u longitudinal.

Espaciamiento entre juntas.- obedece a una relacion de esbeltez donde interviene el ancho, el largo y el espesor de la losa. Las juntas transversales deben consteruirse a maximo 1.25

veces el ancho de la losa. Las juntas longitudinales deben ser construidas si el ancho de la calzada es mayor a 25 veces el espesor de la losa.

Acero de refuerzo.- ninguno.

Transferencia de cargas.- por entramamiento de agregados y/o acción de las dovelas. En vías con bajos volúmenes de tránsito el entramamiento entre agregados es adecuado, mientras que para vías con altos volúmenes el mejor sistema es el de dovelas.

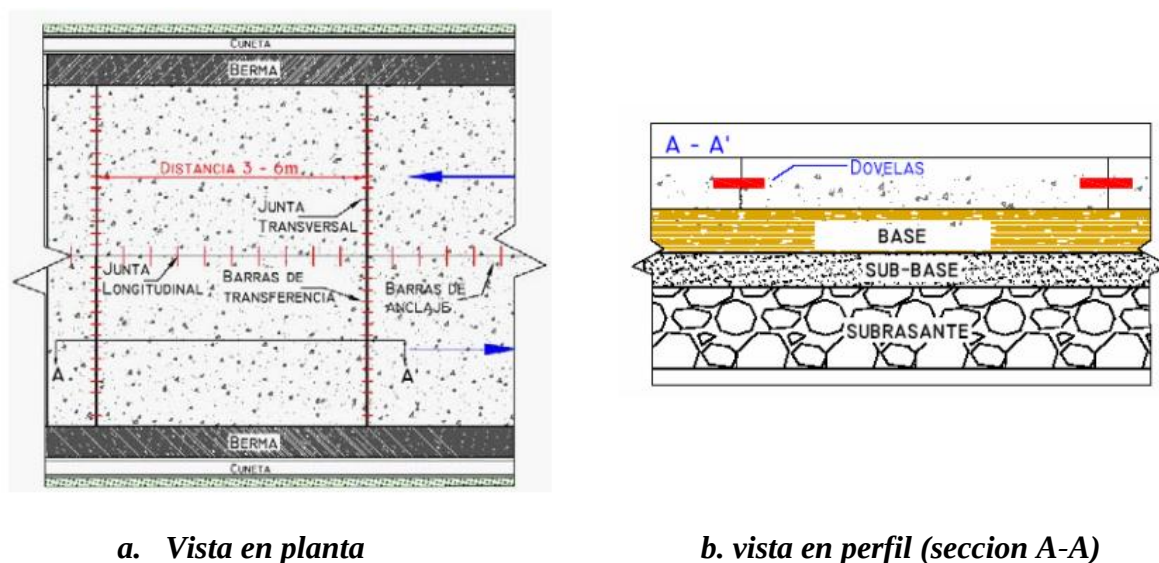


Figura 2.8 Losa de concreto simple

(Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos “INVIAS”)

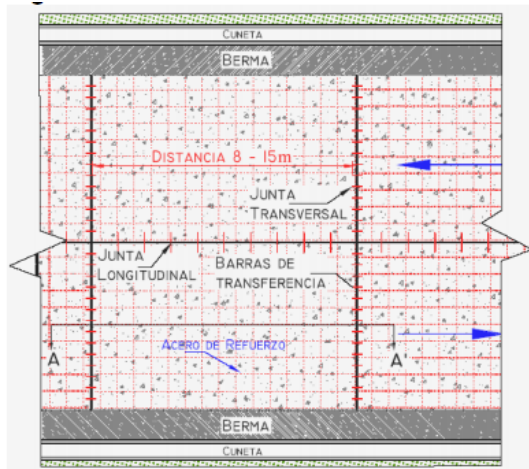
Pavimentos de losas de concreto reforzado.- Los espaciamientos entre juntas transversales son mayores que el de las losas de concreto simple con rangos, entre 7 – 15 m, y utilizan juntas de contracción y adicionalmente armadura distribuida en la losa a efecto de controlar y mantener cerradas las fisuras de contracción (figura 2.9). Las dovelas son usadas en las juntas transversales para asegurar la transferencia de cargas entre las losas.

Características.-Control de fisuras: se lleva a cabo algunas características de este tipo de pavimento rígido.

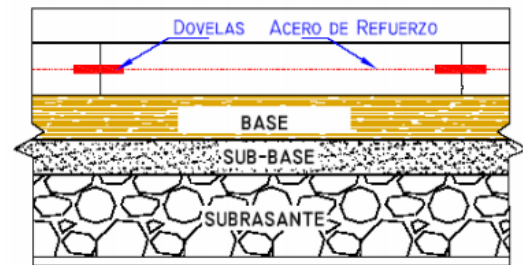
Espaciamiento entre juntas.- Entre 7 y 15 m, debido a la naturaleza del concreto, las losas pueden fracturarse en la zona central.

Acero de refuerzo: malla de acero electro soldada ubicada en el eje neutro de la losa.

Transferencia de cargas.- Dovelas y acero de refuerzo. Las dovelas ayudan en la transferencia de cargas en las juntas transversales.



a. Vista en planta



b. Vista en perfil (Sección A-A)

Figura 2.9 Losas de concreto reforzado

(Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos “INVIAS”)

Pavimentos de losas de concreto continuamente reforzado.- Tiene armadura continua longitudinal y no tiene juntas transversales, excepto juntas de construcción. La armadura transversal es opcional en este caso. Estos pavimentos tienen más armadura que las juntas armadas y el objetivo de esta armadura es mantener un espaciamiento adecuado entre fisuras y que éstas permanezcan cerradas, a fin de evitar el ingreso de agua. Los intervalos típicos de espaciamiento de estas fisuras están entre 1.10 y 2.40 m. el acero de refuerzo en estos pavimentos se encuentra en la parte superior y/o inferior. Se recomienda trabajar con barras N°. 5 (5/8”) y N°. 6 (3/4”).

Características.- Control de fisuras: se lleva a cabo con acero de refuerzo.

Espaciamiento entre juntas.- no aplica, no tiene juntas transversales ni longitudinales.

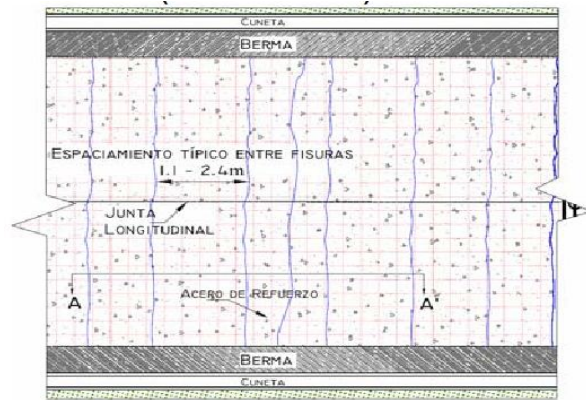


Figura 2.10 Concreto continuamente reforzado (Vista en planta)

(Fuente: Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos “INVIAS”)

2.2.3. Diseño de pavimentos de concreto.- Para poder realizar un correcto diseño de pavimentos de concreto, se debe tener en cuenta que no solo consiste en determinar el espesor de la losa de concreto, sino también debe abarcar otros aspectos relativos a las juntas y a los elementos que rodean el concreto subbase y bermas.

Es importante el considerar que las fallas en los pavimentos pueden darse tanto en la losa como en su soporte que si bien no aporta estructuralmente al pavimento pero brinda un apoyo uniforme y permanente en el tiempo creando la necesidad de especificar materiales no bombeables o con alta permeabilidad y adecuado drenaje, de ahí la necesidad de que en el diseño se tengan en cuenta ambos factores, es necesario diseñar y construir el pavimento de tal manera que se protejan adecuadamente las losas contra los agentes que la puedan atacar, es así que se deben de elegir unos espesores y cualidades del concreto que garanticen que no se fatigara la estructura antes de cumplir con el periodo de diseño y que no se socavaran las losas por la erosión, para lo cual se debe seleccionar adecuadamente el soporte y además un buen diseño de juntas.

Existen diferentes métodos de diseño de pavimentos de concreto, que parten de concepciones específicas sobre tópicos tan sencillos como el de establecer cuando está fallando el pavimento o simplemente cuando cumplió con su vida útil.

Es así que el concepto de falla que tienen los métodos de la Portland Cement Association (PCA), son muy diferentes de los que tienen los de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), que son los más comunes de diseño,

pues mientras que para la PCA , el pavimento ha cumplido su vida útil cuando se da la ruptura del concreto por fatiga a causa de la repetición de cargas, para la AASHTO, el cumplimiento de la vida útil está asociado a una calificación, más o menos subjetiva, de las características del pavimento (índice de serviciabilidad final), por lo que el espesor va a depender del grado de deterioro al que se desea que llegue el pavimento.

De lo expuesto anteriormente se podría decir que el método de diseño es una de las variables de diseño, pues al calcular un pavimento con varios métodos se obtendrán diferentes espesores, sin que se pueda decir que hay una respuesta correcta, por esto se debe de tener el criterio para elegir el procedimiento de diseño.

Se debe ser cuidadoso en la elección del método de diseño y de las variables que en el influyen, para no obtener pavimentos con espesores excesivos, pero tampoco deficientes, que se traduzcan en los menores costos anuales. Si se tomara un espesor mayor que el necesario, el pavimento presentara buen comportamiento con bajos costos de mantenimiento, pero el costo inicial será muy elevado. Si por el contrario, el espesor elegido es muy bajo, se requerirá un mantenimiento importante e interrupciones de tránsito prematuras y costosas, que excederán la compensación por el menor costo inicial. Por lo tanto, se debe de elegir espesores de diseño que equilibren adecuadamente los costos iniciales y los de mantenimiento.

2.2.3.1. Variables que participan en el diseño y comportamiento de los pavimentos de Concreto.-Los pavimentos se diseñan y construyen con el objetivo de prestar el servicio para el cual fue concebido, durante un periodo determinado, manteniendo unas condiciones de seguridad óptimas, con un costo apropiado.

Las variables involucradas en las diferentes metodologías de diseño de pavimentos tienen gran influencia en el resultado final, ya que la determinación de dichas variables influye técnica y económicamente en el diseño definitivo del pavimento, de los cuales los más importantes son la capacidad de soporte del suelo, el tránsito que circulará sobre la estructura durante todo su periodo de diseño, las condiciones climáticas y los materiales con que se construirá. Si las variables no son estimadas de una manera objetiva, el resultado puede ser un pavimento sobre diseñado, o en el caso contrario sub diseñado, lo cual compromete considerablemente los costos y la vida útil del pavimento en estudio.

A continuación se presenta de manera breve la descripción de cada una de las variables:

a) Tránsito.- El diseño de los pavimentos se debe hacer sabiendo cuánto van a pasar los ejes que van a pasar por la vía durante su vida útil, esto es imposible de realizar en la práctica. Por fortuna los métodos de diseño de pavimentos permiten que se hagan simplificaciones en la determinación del tránsito a través de proyecciones. En el caso de los pavimentos de concreto las cargas que dañan la estructura y por lo tanto las que se deben tener en cuenta son las más grandes, aunque no necesariamente las más frecuentes.

La determinación del variable tránsito se puede hacer con diferentes grados de aproximación, pudiendo ser en forma precisa o con grandes simplificaciones el criterio depende del grado de importancia de la vía a pavimentar y de los riesgos que se puedan correr en el diseño de pavimentos. Las más precisas parten del análisis de registros históricos de conteos y pesajes sobre la vía que se va a pavimentar. Los conteos permiten que se haga una proyección con la idea de que el tránsito pasado permite predecir el que pasará. Por su parte los menos precisos se hacen teniendo en cuenta el ancho y el tipo de la vía que se tiene, o con base en algunas consideraciones acerca del servicio que va a prestar la vía. Pero cualquiera que sea la aproximación, debido a las simplificaciones y extrapolaciones involucradas, no se puede tener la certeza respecto a esta variable.

Configuración por ejes.- Las cargas de los vehículos se transmiten al pavimento a través de llantas, dispuestas en grupos de líneas de rotación llamados ejes, estos se clasifican como se muestra en la figura 2.11.

Periodo de diseño.- El término periodo de diseño, no debe confundirse con el término vida del pavimento. El periodo de diseño es sinónimo del término periodo de análisis del tráfico, ya que este no puede predecirse con mucha exactitud para periodos largos.

Para el caso de troncales de transporte masivo, el tráfico si es conocido por lo tanto la vida del pavimento y el periodo de diseño están estrechamente ligados.

Periodos de diseño de 20 años han sido comúnmente utilizados en diseños de pavimentos de concreto, sin embargo hay casos en los que periodos más cortos y más largos pueden ser justificados económicamente. Un periodo de diseño alto, implica que la vía tendrá un nivel de funcionamiento alto, con una mínima intervención de mantenimiento.



Eje	Simple	Tándem (D=1.0 - 1.6 m)	Tridem (tándem triple) (D=2.0 – 3.2 m)
De llanta sencilla			
De llanta doble			
Mixto			

Figura 2.11 Clasificación de ejes

(Fuente: Diseño construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto “ICPC”)

Factor de equivalencia.- En algunos métodos de diseño la variable tránsito se da en ejes patrón, o en ejes equivalentes, basados en la idea de que el deterioro producido por un eje dado se puede relacionar con el de un eje patrón al que se le va asignado un factor de equivalencia unitario, es decir que el tránsito es reducido a un número equivalente de ejes de una determinada carga, que producirá el mismo daño que toda la composición del tránsito. El factor de equivalencia no es un valor específico de cada eje que permanece constante con él, pues cambia con la estructura misma del pavimento.

En la guía AASTHO para el diseño de estructuras de pavimento se encuentran 18 tablas con factores de equivalencia, para los siguientes casos:

- Cargas variando entre 900 y 23.000 kilos (9 a 230 kN) en ejes sencillos, entre 900 y 41000 kilos (9 a 410 kN) en ejes tándem y Tridem.
- Pavimentos con capa de rodadura en concreto asfáltico e hidráulico.
- Seis clases de pavimentos flexibles y nueve rígidos.
- Tres niveles de utilización de cada pavimento.

Todos los factores de equivalencia de la AASTHO están referidos al eje simple de 8,2 toneladas (82 kN). Del análisis de las tablas se puede concluir que los ejes tándem y Tridem con cargas de 13,6 18,2 toneladas (136 y 182 kN) respectivamente se pueden considerar como ejes patrón. Para el caso de un eje con rueda sencilla el eje patrón es de 6,66 toneladas (66,6 kN).

El peso y la clase de eje seleccionado como patrón son diferentes para algunos países y métodos de diseño. En la literatura técnica se tienen ejes simples estándar de 8,2, 10 y 13 toneladas (82 100 y 130 kN).

Con el fin de simplificar la utilización de las tablas de factores de equivalencia, se ha encontrado que se ajustan a una expresión exponencial de la formula:

$$Fe = \left(\frac{Pi}{P_p} \right)^n$$

Donde:

F_e = factor de equivalencia de carga

P_i = carga considerada por eje

P_p = carga seleccionada por eje como patrón.

n = Exponente que varía en función del tipo de pavimento y de selección estructural.

Normalmente varía entre 4 y 4,5

b) Suelo de fundación o sub-rasante.-Se denomina subrasante al suelo que sirve de fundación para todo el paquete estructural de un pavimento. Si la calidad del Terreno de Fundación es buena, de granulometría uniforme de tipo granular, y que evite el fenómeno

del Bombeo, la losa de concreto se puede colocar directamente sobre ella y no requiere cimentación.

Con el transcurso del tiempo se han estudiado diferentes métodos ensayos, que representen de mejor manera el comportamiento de la subrasante. Ensayos usando cargas estáticas o de baja velocidad de deformación tales como CBR, compresión simple, son reemplazados por ensayos dinámicos y de repetición de cargas tales como el ensayo del modulo resiliente, que representan mucho mejor lo que sucede bajo un pavimento en lo concerniente a tensiones y deformaciones.

Las propiedades de los suelos pueden dividirse en dos categorías:

- Propiedades físicas: son usadas para selección de materiales, especificaciones constructivas y control de calidad.
- Propiedades ingenieriles: estas dan una estimación de los materiales para su uso en caminos. La calidad de los suelos para subrasante se puede relacionar con el módulo resiliente, el módulo de Poisson, el valor de soporte del suelo y el módulo de reacción de la subrasante.

Las propiedades de los suelos de subrasante son uno de los datos más importantes en el diseño de un pavimento. Estas propiedades siempre estarán presentes aunque cambien mediante tratamientos especiales tales como estabilización, compactación, etc. Para conocer estas propiedades es necesario un muestreo muy amplio que abarque toda la traza, del proyecto y someterlas a pruebas de laboratorio (granulometría, límites de Atterberg, contenido de humedad, CBR y clasificación). Todos estos datos se vuelcan en el perfil edafológico donde se indican los distintos tipos de suelo y su profundidad.

Correlación entre la clasificación de suelos y la capacidad de soporte.- Con el fin de mejorar la información relativa al suelo como material de construcción o de fundación, es necesario establecer cuál es su resistencia mecánica, ante la presencia de cargas.

Se han desarrollado numerosos ensayos que buscan medir la relación existente entre la carga y la deformación de la muestra de suelo, para condiciones dadas. Pero todos estos ensayos tienen sus limitaciones no habiendo ninguno que pueda ser exacto.

Con todo ello, estos ensayos, como punto de referencia, permiten diseñar y comparar pavimentos de una manera más racional, fuera de que se ha tenido una tradición muy amplia en su aplicación como para no tenerlos en cuenta.

Se puede advertir que la resistencia de un suelo varía con las condiciones de humedad, compactación y confinamiento, por lo cual el resultado de los ensayos será más valioso en la medida en que se logre representar en el laboratorio las propiedades del suelo natural.

Para pavimentos de concreto, los ensayos más usados son los de la relación de soporte de california – CBR y el módulo de reacción de la subrasante – k, los cuales han sido correlacionados con los sistemas de clasificación de suelos como se muestra, figura 2.12.

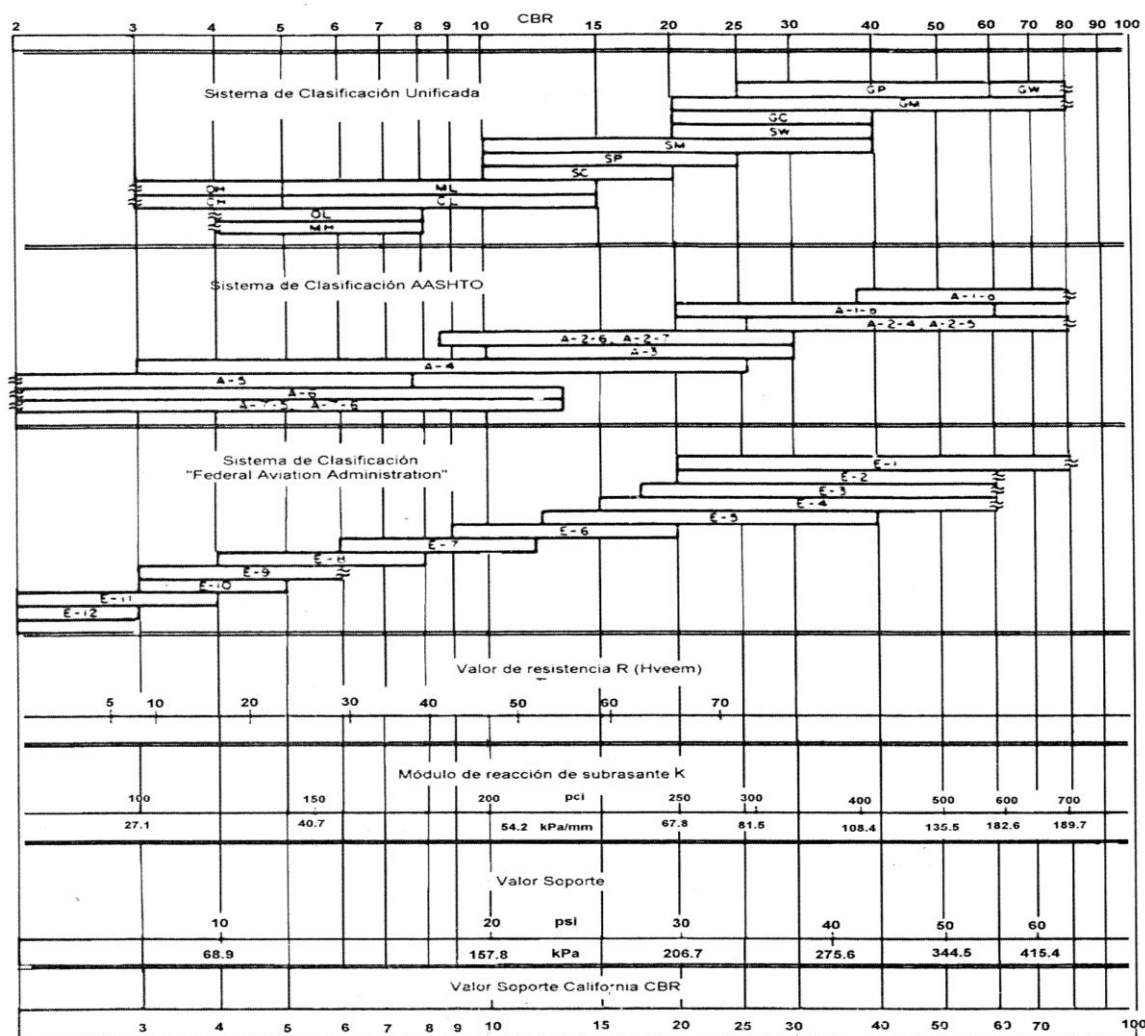


Figura 2.12 Clasificación de suelos relacionados con parámetros de resistencia
(Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO-93 traducción y adaptación IBCH)

Módulo de reacción de la subrasante (k).- El ensayo para determinar el módulo de reacción de la subrasante, llamado también ensayo de la placa, tiene por objetivo determinar la presión que hay que ejercer sobre el suelo para que se presente una deformación dada.

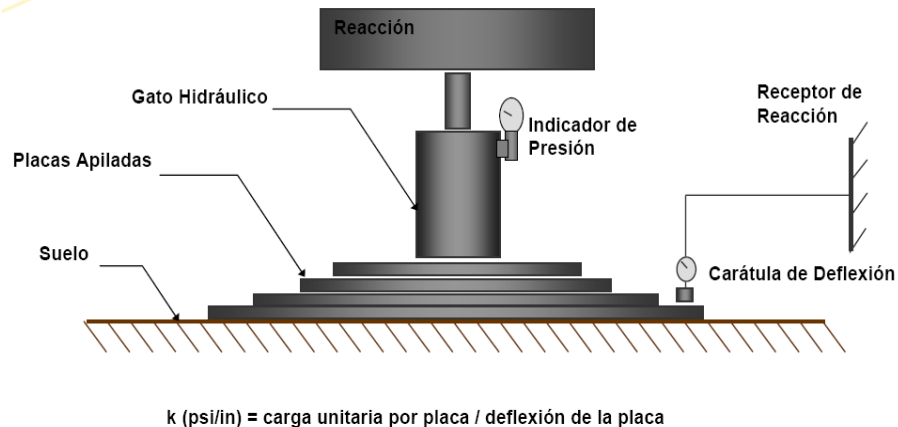


Figura 2.13 Prueba de la placa ASTM D1195 y D1196

La determinación directa del valor (k), mediante ensayos de placa es difícil y costosa, teniendo la desventaja de que normalmente se analiza el suelo en estado seco sin considerar los efectos de la humedad. Debido a la poca sensibilidad del diseño de pavimentos de concreto al valor del coeficiente de soporte (k), es permitido el uso de correlaciones derivadas de otras propiedades del suelo natural de fundación.

- La resistencia de cada suelo se debe expresar en términos del módulo de reacción (k)
- No se requiere realizar correcciones de (k) por efectos estacionales
- Se permite la determinación de (k) por correlación con el CBR, la AASHTO-97 contiene la siguiente tabla de valores:

Valor de Soporte de California (CBR).- El ensayo de CBR consiste en comparar la presión necesaria para penetrar un pistón, en una muestra de suelo dada, con la requerida para una muestra patrón. Es decir:

$$\text{CBR} = \frac{\text{carga que produce una penetración de 2,5 mm en el suelo}}{\text{carga que produce una penetración de 2,5 mm en la muestra patrón}}$$

El ensayo de CBR ha sido muy cuestionado por los ingenieros, debido a que no mide directamente ninguna propiedad importante del suelo para fines de diseño, pero su fácil

ejecución y utilización tan amplia le permitió a los ingenieros que calibraran su experiencia con los resultados obtenidos de CBR, de ahí su valor y permanencia.

c) Material de soporte para el pavimento.- La colocación de una subbase para prevenir el bombeo (granular o estabilizada) y para brindar un apoyo más uniforme a las losas, se traduce en un incremento del módulo de reacción del soporte (k), el cual se aprovecha en el diseño del espesor de las losas.

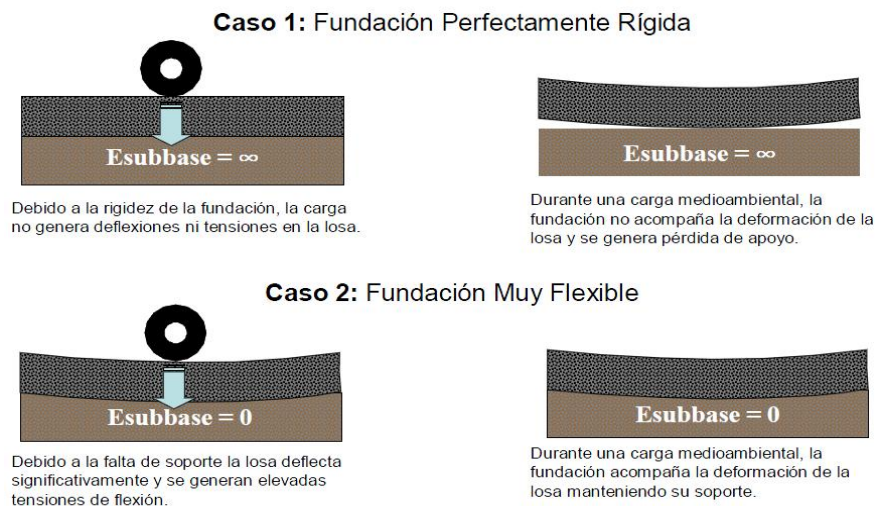


Figura 2.14 Influencia de la rigidez de apoyo en las tensiones generadas
(Fuente: *Diseño y construcción de pavimentos de hormigón "ICPA"*)

Generalmente, es difícil encontrar Terrenos de Fundación apropiados, por lo que, se hace necesario colocar el cimientó, que consiste en una o más capas de materiales granulares que cumplan las siguientes características:

- Proporcionar apoyo uniforme a la losa de Concreto.
- Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo.
- Reducir al mínimo las consecuencias de los cambios de volumen del Terreno de Fundación.
- Reducir al mínimo las consecuencias de la congelación en las secciones de las diferentes capas o la capa superior del Terreno de Fundación.
- Recibir y resistir las cargas de tránsito que se transmiten a través de la base de la losa de concreto.

- Transmitir estas cargas, adecuadamente; distribuyéndolas a las diferentes capas del Pavimento.
- Finalmente, evitar el fenómeno de bombeo (Pumping)

Resistencia.- La estabilidad de una mezcla de agregados depende de su granulometría, densidad relativa, fricción interna y cohesión. Una subbase se diseña para una máxima estabilidad y un alto ángulo de fricción interna. La granulometría y el contacto entre partículas proveen la resistencia al corte necesario. La resistencia de materiales no ligados esta expresada en función del CBR.

Tabla 2.5 CBR requerimientos para subbase

	Máximo CBR de diseño	Tamaño De Agregado máximo	Pasa Tamiz Valor máximo		LL	IP
			2.0 mm No. 10	0.075 mm No. 200		
	%	mm	%	%	%	%
Subbase	50	76(3")	50	15	25	5
Subbase	40	76(3")	80	15	25	5
Subbase	30	76(3")	100	15	25	5
S selecc	20	76(3")	-----	25	25	12

(Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO-93 traducción y adaptación IBCH)

d) Uso de bermas de concreto.- El empleo de bermas de concreto ancladas al pavimento produce alguna transferencia de carga que da lugar a reducciones en los esfuerzos deflexión y en los de flexiones producidas por las cargas de los vehículos, las cuales se pueden traducir en una disminución del espesor de diseño.

La transferencia de carga es la capacidad que tiene una junta de transferir la carga del tráfico entre una losa y la adyacente, la cual se puede dar mediante el uso de barras de trasferencia de cargas comúnmente llamadas dovelas o pasadores.

Una adecuada transferencia de cargas disminuye las deflexiones entre juntas, y por ende, los esfuerzos a los que está sometido el concreto, es así que una junta con el 100% de transferencia de carga será aquella que transfiera la mitad de su carga a la losa adyacente.

Así mismo, minimiza el escalonamiento y los problemas de bombeo que puedan presentarse en las juntas del pavimento.

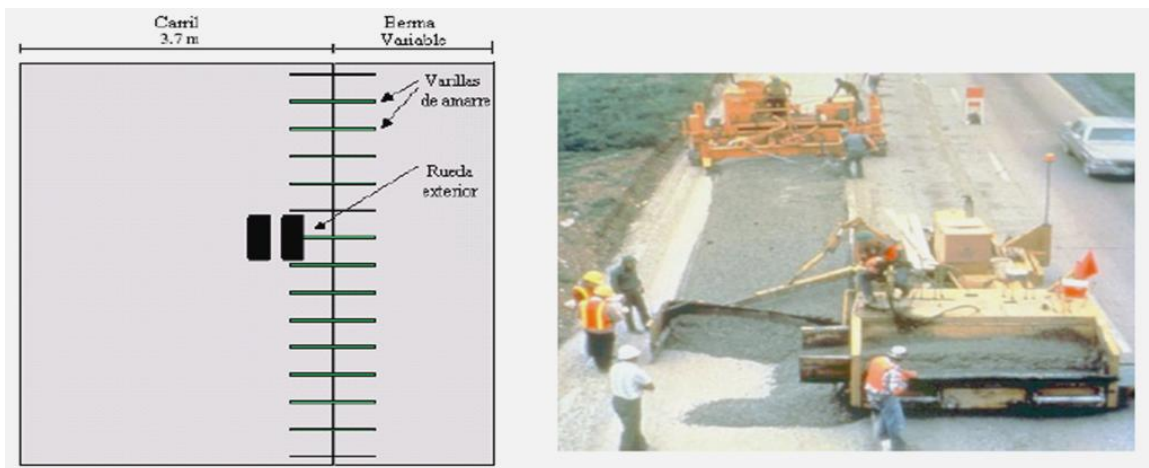


Figura 2.15 Transferencia de cargas entre losas (Existencia o no de pasadores en las juntas transversales) (Fuente: Diseño de pavimentos rígidos para calles y carreteras “Ing. Fernando Sánchez Sabogal”)

La transferencia mediante el uso de pasadores, obliga al concreto de ambos lados de la junta a deflectarse la misma magnitud, cuando está sujeto a una carga, siempre y cuando la efectividad de la junta sea de un 100%, como se muestra en la figura No 2.16

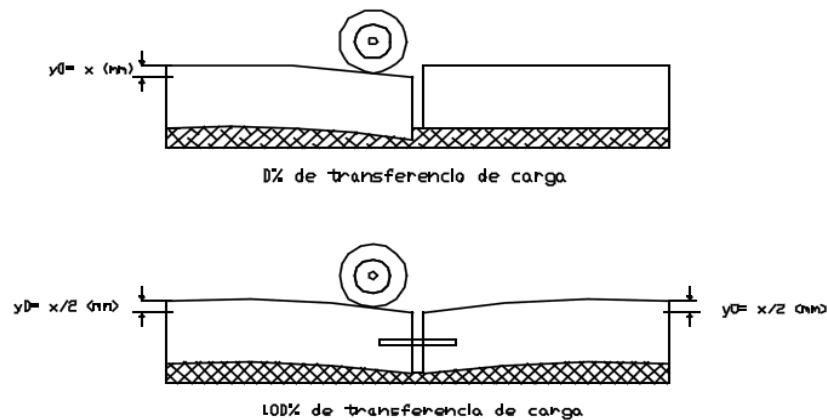


Figura 2.16 Ilustración del concepto de transferencia de cargas (Fuente: comportamiento de las variables de diseño “jhony Martínez Ing. Civil, MIC” “ASOCRETO”)

2.2.3.2. Diseño de espesores de Pavimentos de concreto por el Método AASHTO-93

El procedimiento incluido en la Guía AASHTO determina el espesor **D** de un pavimento de concreto para que éste pueda soportar el paso de un numero W18 de ejes equivalentes de 18 kilo libras (8,2 t) sin que se produzca una disminución en el índice superior a un cierto valor Δ PSI. Dicho índice de servicio PSI y la fórmula que relaciona las tres variables anteriores es la siguiente:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R \times S_o + 7,35 \times \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{1 + \frac{1,625 \times 10^7}{(D + 1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 p_t) \times \log_{10} \left[\frac{S_c * C_d [D^{0,75} - 1,132]}{215,63 * J \left[D^{0,75} - 18,42 \left(\frac{k}{E_c} \right)^{0,25} \right]} \right]$$

En donde:

- **W₁₈**: Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 t, a lo largo del periodo de proyecto.
- **Z_R**: Fractil de la ley normal asociado al nivel de fiabilidad con el que se desea proyectar el pavimento.
- **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 concreto (en pulgadas).
- **Δ PSI**: Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.
- **P_t**: Serviciabilidad final.
- **S_c**: Resistencia media del concreto (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 concreto, en psi
- **K:** Módulo de reacción o de balasto (en psi, libras por pulgada cúbica) de la superficie (base, sub-base o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

La determinación del espesor de la losa puede efectuarse mediante la fórmula de diseño o por el uso de ábacos de diseño (**ver anexos**). En lo que se refiere a las variables de diseño, puede hacerse sobre las mismas las siguientes consideraciones.

W₁₈ (ejes simples equivalentes de 82 KN).- El W₁₈ 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. Para ello la AASHTO en su Guía ha incluido una serie de tablas con factores de conversión, las cuales dependen de varios parámetros, en el caso de pavimentos rígidos, espesor del pavimento. Para estos se han preparado nueve tablas, combinando cada uno de los tres tipos de ejes con tres valores del índice de servicio final: 2,0; 2,5 y 3,0.

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 2.6

Tabla 2.6 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 con zahorra.	10 – 20

(Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO-93 traducción y adaptación IBCH)

El tráfico a tener en cuenta es el que utiliza el carril de proyecto. Se admite que en general, en cada dirección circula el 50% del tráfico total (aunque en ocasiones puede variar entre el 30% y el 70%) y que, dependiendo del número de carriles en cada dirección, puede

suponerse que sobre el carril de proyecto circulan los porcentajes de tráfico en dicha dirección que figuran en la Tabla 2.7

Tabla 2.7 Distribución del tráfico en función del número de carriles

Nº de Carriles en cada dirección	Porcentaje de Ejes Simples Equivalentes de 18 kips en el carril de proyecto
1	100
2	80 – 100
3	60 – 80
4	50 – 75

(Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO-93 traducción y adaptación IBCH)

Parámetro Z_R . Si se supone que para un determinado conjunto de variables definiendo un pavimento (espesores de las capas, características de los materiales que las componen, condiciones de drenaje.) el tráfico que puede soportar el mismo a lo largo de un determinado periodo de proyecto sigue una ley de distribución normal, con una media M_t y una desviación típica S_0 , mediante la tabla de dicha distribución se puede obtener el valor Z_R asociado a un nivel de fiabilidad R , de forma que haya una probabilidad igual a $1-R/100$ de que el tráfico realmente soportado sea inferior al valor $Z_R * S_0$. Tabla 2.8

Tabla 2.8 Desviación estándar normal

Confiabilidad R (%)	Desviación estándar normal Z_R	Confiabilidad R (%)	Desviación estándar normal Z_R
50	- 0.000	93	- 1.476
60	- 0.253	94	- 1.555
70	- 0.524	95	- 1.645
75	- 0.674	96	- 1.751
80	- 0.841	97	- 1.881
85	- 1.037	98	- 2.054
90	- 1.282	99	- 2.327
91	- 1.340	99.9	- 3.090
92	- 1.405	99.99	- 3.750

(Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO-93 traducción y adaptación IBCH)

Desviación estándar S_0 . Tal y como se ha indicado en el párrafo anterior, representa la desviación estándar conjunta que engloba por una parte la desviación estándar de la ley de predicción del tráfico en el periodo de proyecto, y por otra la desviación estándar de la ley de predicción del comportamiento del pavimento, es decir, del número de ejes que puede

soportar el pavimento hasta que su índice de servicio descienda por debajo de un determinado valor p_t .

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

- pavimentos rígidos: 0.30 - 0.40
 - 0.35 = construcción nueva - 0.40 = sobrecarpetas

Por otra parte en la guía se sugiere los niveles de fiabilidad indicados en la Tabla 2.9, de acuerdo con el tipo de carretera de que se trate.

Tabla 2.9 Niveles de fiabilidad a adoptar en función del tipo de carretera

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
Locales	50 – 80	50 – 80

(Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO-93 traducción y adaptación IBCH)

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. En los pavimentos del ensayo AASHTO, p_o alcanzó un valor medio de 4,5 en las soluciones rígidas.

Coefficiente 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, y el porcentaje de tiempo a lo largo del año durante el cual el pavimento está expuesto a niveles de humedad aproximándose a la saturación. Dicho porcentaje

depende de la precipitación media anual, y de las condiciones de drenaje. La Guía define cinco calidades de drenaje, de acuerdo con la Tabla 2.10.

Tabla 2.10
Calidades de drenaje

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)

(Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO-93 traducción y adaptación IBCH)

Combinando las variables anteriormente indicadas, se recomienda adoptar para C_d los valores indicados en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11 Valores del coeficiente de drenaje c_d

Calidad del drenaje	Porcentaje de tiempo en el que el pavimento está 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

(Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO-93 traducción y adaptación IBCH)

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)
- El tipo de arcén (de hormigón cosido al pavimento o flexible).

En función de estos parámetros, la Tabla 2.12 contiene los valores del coeficiente J.

Tabla 2.12 Valores del coeficiente j de transmisión de cargas

Berma	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	N/D	2,3 – 2,9	N/D

(Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO-93 traducción y adaptación IBCH)

De cada intervalo de variación se recomienda adoptar los valores más altos cuanto menor sea el módulo de balasto, más elevado el coeficiente de dilatación térmica del hormigón y más amplias las variaciones de temperatura.

Por el contrario, en los casos de carreteras de poco tráfico, soportando un número reducido de camiones, puede irse a los valores más bajos de J. Puesto que entonces habrá menos pérdida del efecto de engranaje entre los áridos.

Módulo de elasticidad E_c del hormigón.- Se recomienda determinarlo de acuerdo con el procedimiento descrito en las normas, o en su defecto, correlacionarlo con otras características del material, como puede ser su resistencia a compresión. El valor del módulo de elasticidad E_c puede considerarse igual a las expresiones dadas en la siguiente tabla 2.13

Tabla 2.13 Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de Elasticidad E_c

Tipo de agregado y origen	Módulo de Elasticidad E_c, Mpa	Módulo de Elasticidad E_c, Kg/cm²
Grueso – Ígneo	$E_c = 5,500 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 17,000 \times (f_c)^{1/2}$
Grueso - Metamórfico	$E_c = 4,700 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 15,000 \times (f_c)^{1/2}$
Grueso – Sedimentario	$E_c = 3,600 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 11,500 \times (f_c)^{1/2}$
Sin Información	$E_c = 3,900 \times (f_c)^{1/2}$	$E_c = 12,500 \times (f_c)^{1/2}$

(Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO-93 traducción y adaptación IBCH)

Factor de pérdida de soporte LS.- Este parámetro viene a indicar la potencial pérdida de apoyo de las losas debida bien a la erosionabilidad de la sub-base o bien a asientos diferenciales de la subrasante; y aunque no aparece de forma explícita en la fórmula de diseño para la obtención del espesor, si interviene de forma indirecta a través de una reducción del módulo de reacción efectivo k de la superficie en que se apoyan las losas. En la tabla 2.14 se indican los valores de LS recomendados para distintos tipos de bases y sub-bases.

Tabla 2.14 Valores del factor de pérdida de soporte LS en función del tipo de base o sub-base.

Tipo de base o sub-base	Factor de pérdida de soporte LS
Bases granulares tratadas con cemento (E:70.000 a 140.000 kp/cm ²)	0,0 a 1,0
Sub-bases tratadas con cemento (E:35.000 a 70.000 kp/cm ²)	0,0 a 1,0
Bases asfálticas (E:25.000 a 70.000 kp/cm ²)	0,0 a 1,0
Sub-bases estabilizadas con asfalto (E:3.000 a 20.000 kp/cm ²)	0,0 a 1,0
Estabilizaciones con cal (E:1.500 a 10.000 kp/cm ²)	1,0 a 3,0
Materiales granulares sin tratar (E:1.000 a 3.000 kp/cm ²)	1,0 a 3,0
Suelos finos y subrasantes naturales (E:200 a 3.000 kp/cm ²)	2,0 a 3,0

(Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO-93 traducción y adaptación IBCH)

En el caso de que, aún utilizándose sub-bases no erosionables, pudiesen producirse en la subrasante asientos diferenciales (por ej. Por la existencia de arcillas expansivas o por excesivo hinchamiento durante la época de heladas) deberán adoptarse para LS valores comprendidos entre 2,0 y 3,0.

Módulo de reacción k de la superficie en la que se apoya el pavimento (o módulo efectivo de la subrasante).- 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 2.15.

Tabla 2.15 Valores del modulo “k”

“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

(Fuente: Diseño de pavimentos AASHTO-93 traducción y adaptación IBCH)

Estos valores de k dependen de varios factores:

- El módulo resiliente de la subrasante.
- El espesor de la sub-base.
- El módulo de elasticidad de la sub-base.

Para la determinación del módulo de elasticidad de la sub-base pueden utilizarse una serie de correlaciones con otros parámetros:

- En el caso de bases tratadas con cemento, la resistencia a compresión a los 7 días.
- En el caso de una base asfáltica, la estabilidad Marshall.
- En el caso de bases o sub-bases granulares, el índice CBR, el valor R utilizado en California o el resultado del ensayo triaxial de Texas. Se recomienda, no obstante, que el método de elasticidad de una sub-base granular no sea más de cuatro veces superior al de la subrasante sobre la que apoya.

Determinación del espesor (D) del pavimento.-Una vez definidos los valores de los distintos parámetros, entrando con los mismos en la ecuación general del método AASHTO o bien en el ábaco de diseño, se obtiene el espesor de losa necesario. El valor deducido debe redondearse a la media pulgada más próxima.

2.2.3.3. Diseño de Espesores de Pavimentos de concreto por Método PCA

El método de diseño de la PCA “portland Cement Association”, es aplicable a los diversos tipos de pavimentos rígidos de concreto simple, concreto reforzado y concreto con refuerzo continuo.

El procedimiento de diseño de la PCA establece varias condiciones, tales como:

- La transferencia de cargas, dependiendo del tipo de pavimento que se considere.
- El uso de bermas de concreto o asfalto adheridos al pavimento, permite reducir los esfuerzos de flexión y deflexiones, producidos por las cargas de los vehículos en los bordes de las losas.
- Para reducir los esfuerzos que se producen al paso de las ruedas sobre las juntas, es necesario el uso de subbases estabilizadas, ya que estas proporcionan superficies de

soporte de mejor calidad y resistencia a la erosión a causa de las deflexiones de las losas de pavimento.

- Se basa en dos criterios específicos, uno relativo a la resistencia a la fatiga del hormigón y el otro a la erosión de la base. En el primer caso, se supone que la carga máxima se aplica en medio de la losa justo sobre la junta longitudinal que da la tensión máxima con la losa. En el segundo caso, se supone que la carga máxima se aplica en una esquina de la losa para generar deflexión máxima de la losa.
- Los camiones con ejes tridem se consideran dentro del diseño, a pesar de que los sencillos y los ejes tandem, son los más utilizados en las carreteras; los ejes tridem pueden llegar a producir más daño por efecto de erosión que por fatiga.

Cuando se usa este método de diseño, hay que conocer cuatro parámetros fundamentales:

- El módulo de ruptura del hormigón.
- El módulo de reacción de la fundación.
- El periodo de diseño.
- Las características del tráfico.

El módulo de ruptura del hormigón (MR).- Este valor se utiliza en el diseño, bajo el criterio de la fatiga que sufren los materiales por el paso de las cargas impuestas por los vehículos pesados, que tienden a producir agrietamiento en el pavimento.

Por lo tanto el concreto hidráulico que se utiliza en los pavimentos se especifica por su resistencia a la flexión, medida por el Módulo de Rotura a Flexión, a los 28 días. (MR) expresada en kg/cm² y generalmente varía entre los siguientes valores: $40 \leq MR \leq 50$

En Pavimentos de Concreto Hidráulico se exige:

$MR \geq 40 \text{ kg/cm}^2$ o sea $f'c \geq 280 \text{ kg/cm}^2$, aceptándose $f'c \geq 210 \text{ kg/cm}^2$ para tráfico ligero.

El módulo de reacción de la fundación (k).- La capacidad de soporte, es el valor del modulo de reacción (k) de la capa de apoyo de un pavimento de concreto. Este valor se puede estimar por correlación con el CBR ya que no es necesariamente indispensable tener un valor exacto de k, variaciones mayores de este valor no afectan los espesores de diseño.

Las subbases son necesarias con el objeto de prevenir el fenómeno del bombeo, sin embargo su presencia tiene como consecuencia un incremento en la capacidad de soporte

del pavimento que se puede aprovechar para efectos de diseño por que puede disminuir en algo el espesor de la losa.

En la tabla 2.16. Se puede observar cómo se incrementa el valor k al colocar una subbase granular.

Tabla 2.16 Efecto de la subbase granular sobre los valores de k

Valor de k para subrasante		Valor de k para subbase							
		100 mm		150 mm		225 mm		300 mm	
Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³	Mpa/m	Lb/pulg ³
20	73	23	85	26	96	35	117	38	140
40	147	45	165	49	180	57	210	66	245
60	220	64	235	66	245	76	280	90	330
80	295	87	320	90	330	100	370	117	430

Fuente: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993

Fuente: Manual centro americano de diseño de pavimentos

Tabla 2.17 Suelos de subrasante y valores aproximados de k.

Tipo de suelo	soporte	Rango de valores k, MPa/m
Suelos de grano fino, en los que predominan partículas del tamaño del limo y la arcilla	Bajo	20 – 30
Arenas y mezclas de grava y arena con cantidades moderadas de limo y arcilla	Medio	35 – 49
Arenas y mezclas de grava y arena, relativamente libres de finos plásticos	Alto	50 – 60
Subbase tratada con cemento	Muy alto	70 - 110

(Fuente: Diseño, construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto de Cipriano Alberto Lodoño “INVIAS”)

El periodo de diseño.- Este se lo considera como el periodo de análisis del tránsito, ya que es difícil hacer la predicción del tránsito con suficiente aproximación para un largo tiempo. Para un pavimento rígido se considera adecuado tomar 20 años como periodo de diseño, pudiendo resultar económicamente justificado en algunos casos el empleo de periodos menores, el que se elija incide directamente en los espesores, ya que esto determina cuantos vehículos tendrán que circular sobre el pavimento en ese lapso. El seleccionar un periodo

de diseño de un pavimento es función del juicio ingenieril, del tipo de carretera, nivel del tránsito, análisis económico y el servicio que preste.

Las características del tráfico.- La características del tránsito que se relacionan con el diseño de pavimentos de concreto son el número de pasadas y la importancia de las cargas. Siendo las cargas más pesadas de eje que se esperan durante el periodo de diseño, son las que definen los esfuerzos a los que va estar sometido el pavimento.

Los valores de transito a obtener se clasifican así:

- TPD transito promedio diario en ambas direcciones.
- TPD-C transito promedio diario de vehículos pesados en ambas direcciones.
- Cargas por eje de los vehículos pesados.

El dato necesario para obtener el tránsito de diseño, consiste en asumir tasas de crecimiento anual que relacionen factores de protección como se observa en la tabla 2.18.

Tabla 2.18 Tasas anuales de crecimiento con sus correspondientes factores de protección

Tasas de crecimiento anual de tránsito, %	Factores de proyección	
	20 años	40 años
1	1.1	1.2
1 1/2	1.2	1.3
2	1.2	1.5
2 1/2	1.3	1.6
3	1.3	1.8
3 1/2	1.4	2.0
4	1.5	2.2
4 1/2	1.6	2.4
5	1.6	2.7
5 1/2	1.7	2.9
6	1.8	3.2

Fuente: Guía Para Diseño de Estructuras de Pavimentos, AASHTO, 1,993

Fuente: Manual centro americano de diseño de pavimentos

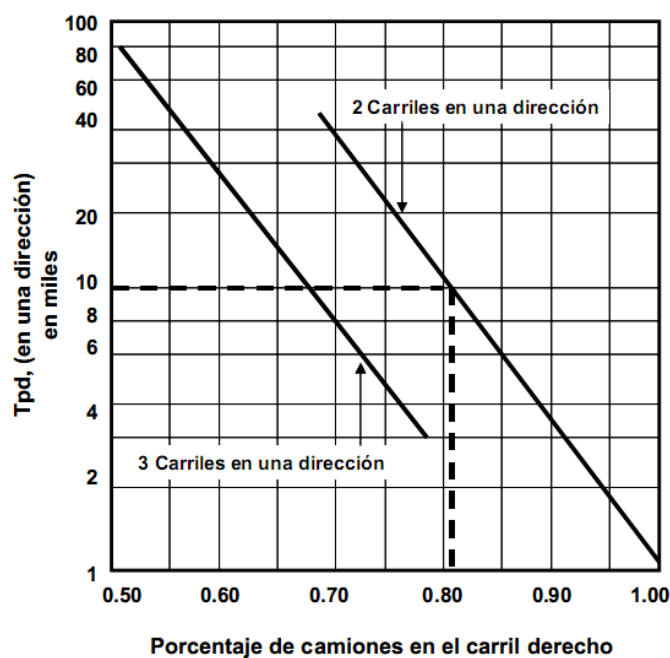
TPD-C establece el número total de vehículos pesados esperados durante el período de diseño. Asumimos regularmente para el diseño que las cargas y volúmenes de transito se distribuyen en partes iguales en ambas direcciones, pero puede suceder en casos específicos, que la mayor parte de camiones cargados viaje en una dirección. Para vías de cuatro carriles o más, el porcentaje de vehículos comerciales debe de ajustarse utilizando la figura 2.17.

Factores de seguridad de carga.- Este método dice o exige que las cargas reales esperadas se multipliquen por factores de seguridad de carga (F_{sc}), para lo cual se recomienda lo siguiente:

Para vías que tiene múltiples carriles, en los cuales se espera un flujo de tráfico interrumpido son un elevado volumen de tránsito, $F_{sc}=1.2$

Para carreteras y vías urbanas en las que el tránsito esperado es de un volumen moderado de vehículos pesados $F_{sc}=1.1$

Para calles residenciales y otras que soporten bajo volumen de tránsito de camiones, $F_{sc}=1.0$



Fuente: Guía para diseño de estructuras de pavimentos, AASHTO, 1993

Figura 2.17 Porcentaje de camiones en el carril de diseño en una carretera de varios carriles (Fuente: Manual centro americano de diseño de pavimentos)

Procedimiento de diseño.- Se establecen los datos básicos de entrada (tipos de juntas y bermas, resistencia a la flexión del concreto a 28 días, valor k de subrasante o conjunto subrasante-subbase, factor de seguridad de carga F_{sc} , distribución de cargas por eje y el número de ESALs.

Estos se consignan en la hoja de trabajo figura 2.19. También deberán disponerse de los datos de tránsito, con los cuales se llenaran las columnas 1 y 3. Las cargas por eje deberán multiplicarse por el factor de carga elegido para llenar la columna 2.

Luego conforme la hoja de trabajo presentada en la figura 2.19, se efectúan los dos tipos de análisis requeridos:

- a) El de fatiga (para controlar el agrietamiento por fatiga).

Las tablas y graficas empleadas son las mismas para cualquier tipo de pavimento de concreto, la única diferencia es en el tipo de berma que tengan.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Hallar los esfuerzos equivalentes en la tabla que corresponda en función del espesor de la losa supuesto y del valor k . anotar dichos valores frente a los numerales 8 y 11 de la hoja de trabajo.
- Dividir estos valores por el modulo de rotura y anotar los valores frente a los numerales 9 y 12 (factores de relación de esfuerzos).
- Con la magnitud de las cargas (columna 2) y los factores de relación de esfuerzos, determinar en la figura 2.18 el número admisible de repeticiones de carga y anotarlo en la columna 4.
- Calcular consumo el porcentaje de fatiga, dividiendo las repeticiones esperadas columna 3, por las repeticiones admisibles columna 4, y multiplicandas por 100. La suma de todos ellos es el consumo total de fatiga.

El de erosión (para controlar la erosión de la fundación y las bermas, el bombeo y el desnivel entre losas).

Las tablas y graficas empleadas son las mismas para cualquier tipo de pavimento de concreto, la única diferencia es en el tipo de berma que tengan.

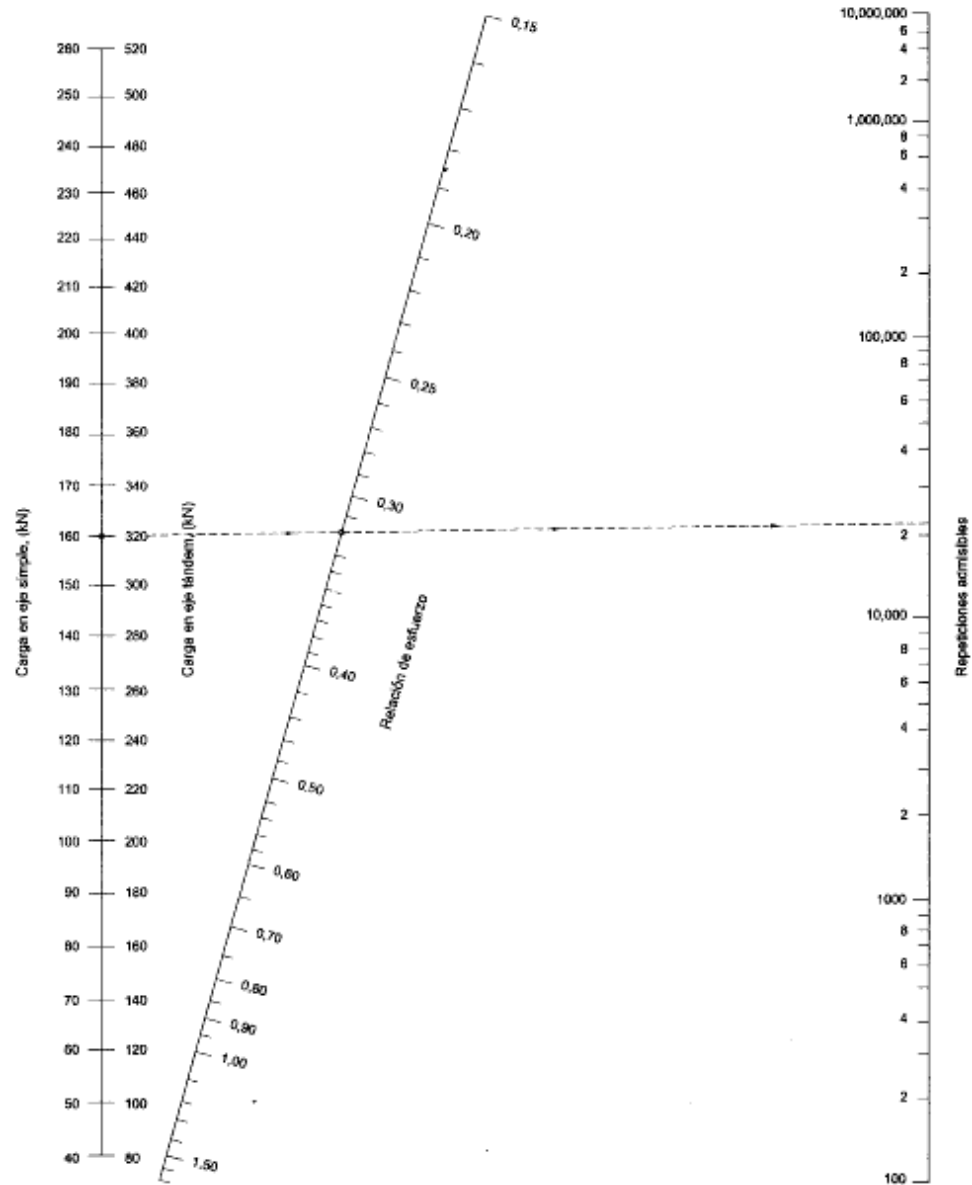


Figura 2.18 Análisis de fatiga. Repeticiones admisibles en función de la relación de esfuerzos en pavimentos con y sin berma de concreto.

(Fuente: Manual centro americano de diseño de pavimentos)

Los pasos a seguir son los siguientes:

- De la tabla apropiada se toman los factores de erosión y anotarlos en la hoja de trabajo en los numerales 10 y 13.
- Llenar la columna 6 con las repeticiones admisibles halladas en las figuras 15 y 16

- Dividir cada valor de la columna 3 por el correspondiente de la 6 y multiplicar por 100. Anotar los valores calculados en la columna 7. La suma de todos ellos es el consumo total de erosión.

Finalmente el espesor de las losas escogido para el tanteo se considera inadecuado si los totales de fatiga y erosión superan el 100% se hará un nuevo tanteo con un espesor mayor. Si los totales son muy inferiores al 100%. Se hará un nuevo tanteo con un espesor menor.

Proyecto: _____

Espesor de tanteo: _____ mm

Conjunto subbase-subrasante: _____ Mpa/m

Módulo de rotura, MR: _____ Mpa

Factor de seguridad: _____

Juntas con dovelas: SI ___ NO ___

Berma de concreto: SI ___ NO ___

Período de diseño: _____ años

Carga por eje, kN	Carga por FSC, kn	Repeticiones Esperadas	Análisis por fatiga		Análisis por erosión	
			Repeticiones admisibles	Porcentaje de fatiga	Repeticiones admisibles	Porcentaje de daño
1	2	3	4	5	6	7
Ejes sencillos			8 Esfuerzo equivalente 9 Relación de esfuerzos		10 Factor de erosión	
Eje Tandem			11 Esfuerzo equivalente 12 Relación de esfuerzos		13 Factor de erosión	
			Total		Total	

Figura. 2.19 Formato de la hoja de trabajo para el cálculo de espesores de pavimento
(Fuente: Manual centro americano de diseño de pavimentos)

CAPÍTULO III

REPARACIÓN DE SUPERFICIES CONCRETO

La reparación del concreto es un proceso complejo, presenta reos únicos muy diferentes a los experimentados en el campo de las construcciones nuevas con concreto. Esto debido a que debe integrar exitosamente nuevos materiales con viejos materiales, formando un compuesto capaz de soportar las exposiciones al uso, el medio ambiente, y el tiempo.

Cada estructura requiere de reparación manteniendo rutinarios, que van desde la simple colocación de capas protectoras hasta la reparación de concreto astillados para reforzar los componentes defectuosamente diseñados.

Antes de poder diseñar una reparación, es necesario conocer los mecanismos de deterioro del concreto, comprender el comportamiento del concreto a fin de tener los conocimientos necesarios para entender los elementos que pueden conducir a defectos y/o problemas y plantear soluciones potenciales.

3.1. Comportamiento del concreto

El comportamiento del concreto no es siempre como se espera, y este comportamiento indeseable se debe a las acciones (causas) que actúan sobre las estructuras de concreto siendo estos parámetros fundamentales a considerar en su diseño ya que inciden directamente en la Durabilidad, el Servicio, la Estabilidad y/o la Resistencia.

Por esta razón cuando nos encontramos frente a una deficiencia es esencial determinar la causa que la origina, muchas veces asociada a más de una acción, esto nos permitirá diseñar la estrategia de reparación que considere tanto la causa como el efecto (Comportamiento), buscando como resultando una reparación adecuada y duradera.

Una variedad de factores influye en el comportamiento del concreto. Estas incluyen; el diseño, los materiales, la construcción, cargas y condiciones de servicio y las de exposición.

Algo del comportamiento indeseable puede verse como la desintegración, el astillamiento, el agrietamiento, las fugas, el desgaste, la deflexión o el asentamiento. Para desarrollar estrategias efectivas de reparación es preciso comprender que fue lo que ocasiono este comportamiento, buscando como resultado una reparación adecuada.

Para facilitar la comprensión del problema patológico y consecuentemente adoptar la solución apropiada, agruparemos los fenómenos típicos de acuerdo al origen de la acción o según la similitud de la respuesta de la estructura.

3.1.1. Corrosión de armaduras (metales ahogados).- La corrosión de armaduras es un proceso electroquímico que provoca la degradación (oxidación) del acero en el hormigón. Los factores que afectan a este fenómeno están asociados fundamentalmente a las características del concreto, al medio ambiente y a la disposición de las armaduras en los componentes estructurales afectados.

Los daños causados por corrosión de armaduras generalmente se manifiestan a través de fisuras en el hormigón paralelas a la dirección de los refuerzos, delaminación y/o desprendimientos del recubrimiento. En componentes estructurales que presentan un elevado contenido de humedad, los primeros síntomas de corrosión se evidencian por medio de manchas de óxido en la superficie del hormigón.

Los daños por corrosión pueden afectar la capacidad portante de los componentes estructurales afectados, debidos fundamentalmente a la disminución de sección transversal de las armaduras, la pérdida de adherencia entre el acero y el hormigón y a la fisuración de éste. Así mismo, el progresivo deterioro de las estructuras por corrosión provoca desprendimientos de material que pueden comprometer la seguridad de personas.

Proceso de corrosión.- El fenómeno se observa con frecuencia en hormigones de baja calidad, elaborados con altas relaciones agua – cemento y por consiguiente que presentan elevada porosidad, así como en componentes estructurales afectados por humedad o ciclos de mojado.

La elevada alcalinidad que presenta el concreto recién mezclado se ubica entre ($\text{pH} > 12$ y 13), le provee al acero, de un medio protector en el cual su velocidad de corrosión (VC) es prácticamente nula. Esta condición se denomina pasividad, el estado pasivo de las armaduras puede perderse debido fundamentalmente a la acción de dos mecanismos; ataque por cloruros y pérdida de la alcalinidad en el concreto. Por lo tanto, cuando se rompe esta, puede surgir la corrosión.

La corrosión es un proceso electroquímico que requiere de un ánodo, un cátodo, y un electrolito. La matriz de un concreto húmedo forma un electrolito aceptable, y el acero de refuerzo proporciona el ánodo y el cátodo. La corriente eléctrica influye entre el cátodo y el ánodo, y la reacción da como resultado un incremento en el volumen del metal cuando el Fe (hierro) se oxida para formar $\text{Fe}(\text{OH})_2$ y $\text{Fe}(\text{OH})_3$ y se precipita como $\text{FeO} \cdot \text{OH}$ (color herrumbre). Para que la reacción tenga lugar debe haber agua y oxígeno.

Los productos de corrosión del acero ocupan un volumen que es varias veces superior al del metal de origen. La acumulación de estos productos en la interface entre el acero y el concreto genera tensiones de tracción, en este último provocan la fisuración y el posterior desprendimiento del recubrimiento.

El tiempo de aparición de fisuras depende fundamentalmente de la calidad y el espesor del recubrimiento de hormigón, así como del diámetro y la ubicación de la armadura y del tipo de producto de corrosión generado.

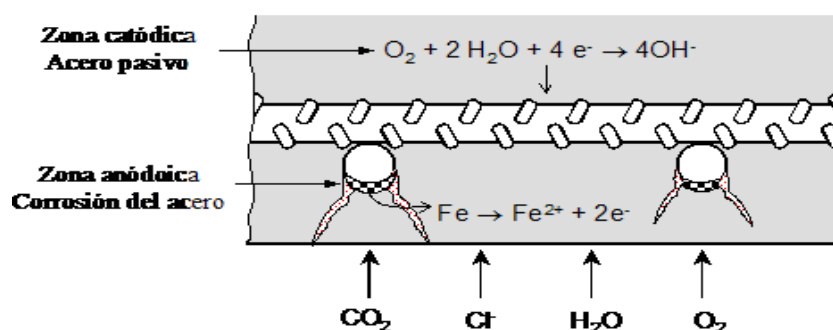


Figura 3.1 Representación esquemática del proceso electroquímico de corrosión de las armaduras en el concreto. (Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Concreto)

Penetración de cloruros.- El ingreso de los cloruros al interior del concreto puede deberse a la interacción con el medio ambiente, al empleo de sales para el deshielo o a la utilización de aditivos y/o agregado conteniendo cloruros durante la elaboración del concreto. La penetración de cloruros empieza en la superficie, posteriormente se mueve hacia adentro.

Esta depende de tres factores:

- La cantidad de cloruros que entra en contacto con el concreto.
- La permeabilidad del concreto
- La cantidad de humedad presente

Cuando la concentración de cloruros que está en contacto con el acero de refuerzo en presencia de humedad y oxígeno causaran corrosión. A medida que se forme una capa de herrumbre, las fuerzas de tensión generadas por la expansión del óxido, hacen que el concreto se agriete y se delamine.

El astillamiento de la delaminación ocurre cuando las fuerzas naturales de gravedad o las cargas actúan en el concreto flojo. Cuando el agrietamiento y la delaminación progresan, tiene lugar una corrosión acelerada, debido al fácil acceso de sales corrosivas, oxígeno y humedad. Entonces la corrosión empieza a afectar las varillas de refuerzo ahogadas más adentro del concreto.

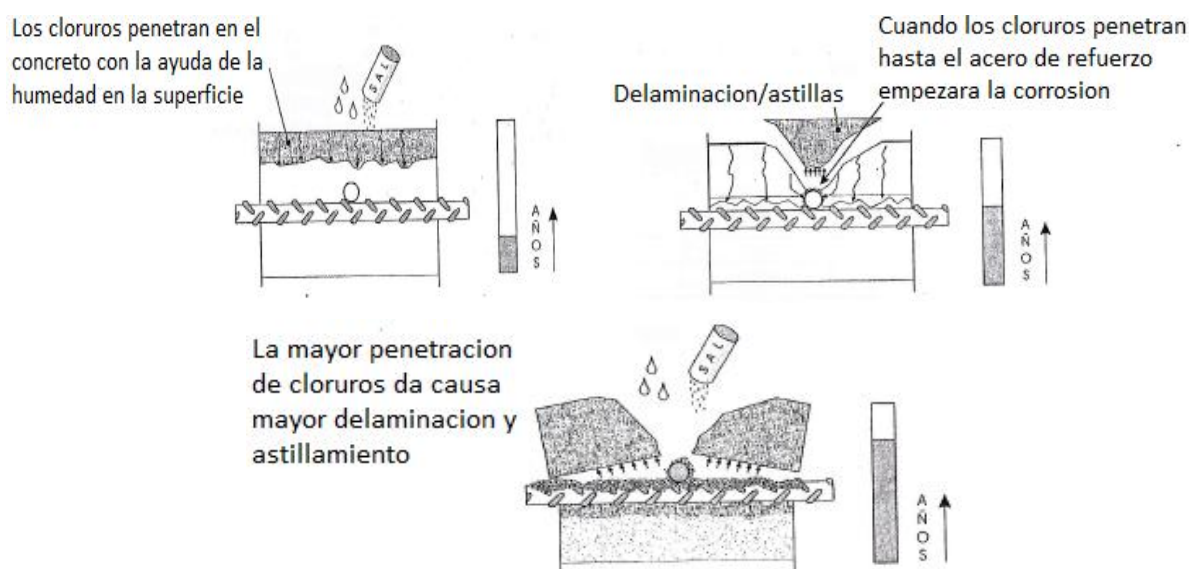


Figura 3.2 Delaminación y astillamiento inducidos por penetración de cloruros.

(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

El agrietamiento y astillamiento del concreto inducidos por la corrosión del acero son funciones de las siguientes variables:

- Resistencia a tensión del concreto.
- Calidad y espesor del recubrimiento del concreto sobre la varilla de refuerzo.
- Adherencia entre la varilla de refuerzo y el concreto circundante.
- Diámetro de la varilla de refuerzo.
- Porcentaje de la corrosión por peso de la varilla de refuerzo

Así para una relación de espesor de recubrimiento a diámetro de la varilla (C/D) igual a 7, el agrietamiento del concreto inicia cuando la corrosión alcanza el 4%, mientras que con

una relación (C/D) de 3, solamente el 1% de la corrosión es suficiente para agrietar el concreto.

Grietas, Juntas y cloruros.- Las grietas y las juntas de construcción en el concreto permiten que los químicos corrosivos entren al concreto y se introduzcan en el acero de refuerzo. La corrosión del acero puede tener lugar, inclusive, en un ambiente altamente alcalino cuando hay la presencia de cloruros. Los cloruros no se consumen en el proceso de corrosión, pero si actúan como catalizadores para el proceso y permanecen en el concreto.

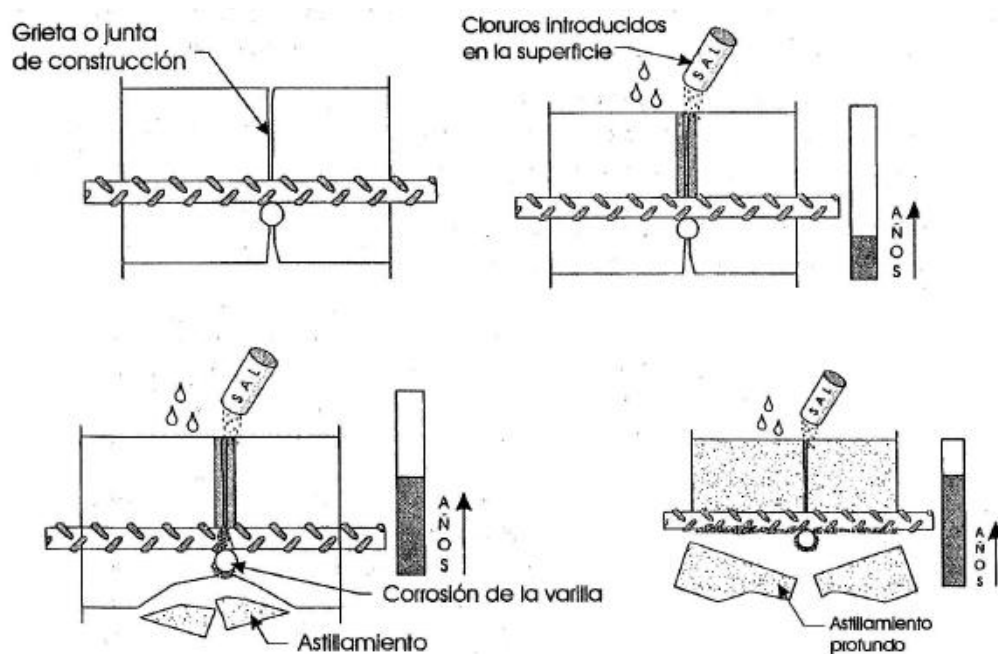


Figura 3.3 Proceso de corrosión, por inclusión de cloruros en una grieta o junta de construcción. (Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Pérdida de alcalinidad en el hormigón (carbonatación).- La carbonatación del concreto es una reacción entre gases ácidos en la atmosfera y los productos de la hidratación del cemento. El dióxido de carbono (CO_2) penetra en los poros del concreto por difusión y reacciona con el óxido de calcio (CaO), disuelto en el agua de los mismos poros. Como resultado de esta reacción, la alcalinidad del concreto se reduce a un valor $\text{pH}=10$ aproximadamente, perdiendo la protección del concreto del acero de refuerzo. La pasividad de la capa protectora en el acero es destruida cuando el acero es despasivado y el ambiente es ácido o ligeramente alcalino, empieza la corrosión si la humedad y el oxígeno ganan acceso hacia el concreto.

El proceso requiere de cambio constante en los niveles de humedad desde seco hasta mojado y nuevamente seco. No ocurriendo carbonatación cuando el concreto este constantemente bajo el agua. El proceso de carbonatación ocurre con mayor rapidez en hormigones de baja calidad y en ambientes cuya humedad relativa varía entre 50 y 70 %.

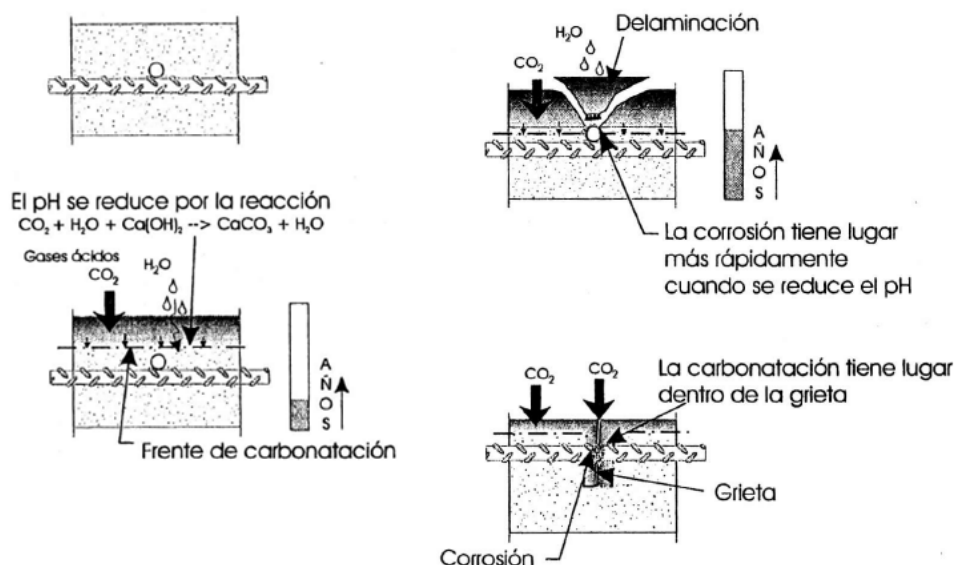


Figura 3.4 Proceso de carbonatación

(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Reducción de la capacidad estructural.- La capacidad estructural de un elemento de concreto es afectada tanto por la corrosión de la varilla como por el agrietamiento del concreto circundante. La investigación realizada en vigas a flexión encontró que en el acero con más de 1.5% de corrosión, la capacidad ultima de carga empezó a caer y en una corrosión de 4.5%, la carga ultima se redujo en 12%, probablemente como resultado del diámetro de varilla reducido.

Se puede conjeturar que, en elementos a compresión, el agrietamiento y el astillamiento del concreto, reducen la sección transversal efectiva del concreto, reduciendo de este modo la capacidad última de la carga en el mismo elemento.

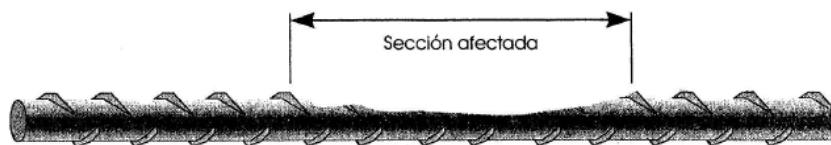


Figura 3.5 Reducción de la capacidad estructural

(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

3.1.2. Efectos térmicos y de humedad.- Para realizar el análisis del efecto de los cambios de temperatura y/o humedad sobre el concreto endurecido, es necesario acortar el enfoque a los rangos habituales que pueden presentarse, excluyendo situaciones excepcionales como puede ser un incendio y la acción de heladas.

La razón de analizar en forma conjunta estos dos fenómenos es que en situaciones reales se producen gradientes de humedad y/o temperatura marcadamente no lineales, cuyo tratamiento analítico y conceptual es similar.

Efectos de los cambios en la temperatura y el contenido de humedad sobre la estabilidad volumétrica.- Los cambios de temperatura ocasionan variaciones de volumen, en forma similar a lo que ocurre con cualquier material, es decir, un incremento de temperatura incrementa el volumen de concreto; inversamente un decremento de temperatura reduce el volumen de concreto. Algo similar ocurre con los cambios en el contenido de humedad: el concreto seco que se humedece se expande, mientras que el concreto húmedo que se seca se contrae.

Los cambios de volumen ocasionan esfuerzos cuando el concreto está restringido. Los esfuerzos resultantes pueden ser de tensión, compresión, cortante, etc. Estos pueden dar como resultado un comportamiento indeseable: agrietamiento astillamiento deflexión excesiva.

En primera instancia, considerando que estos fenómenos se manifiestan en forma homogénea en toda la sección, sólo aparecerán tensiones si los vínculos, externos o internos, impiden la libre deformación, tal como se ilustra esquemáticamente en Figura.3.6. Como vínculos externos se pueden citar otros elementos estructurales vinculados, la fricción (en el caso de losas apoyadas sobre el piso), apoyos fijos, etc. y como interno, la presencia de barras de armadura, cambios bruscos de sección, etc.

Con el objeto de aliviar estas tensiones y evitar la aparición de fisuras, usualmente se diseñan juntas (de contracción o de dilatación) espaciadas convenientemente.

Distribución de humedad y cargas térmicas diferentes.- Esto ocurre cuando existen gradientes marcadamente no lineales y se generan tensiones que pueden exceder la capacidad de deformación y la resistencia a la tracción del material. La distribución “no

lineal” de temperatura o humedad introduce mayores diferencias en las deformaciones de capas adyacentes cercanas a la superficie, constituyendo una causa potencial de fisuras.

Grandes diferencia en el contenido de humedad o de temperatura entre capas adyacentes cercanas a la superficie pueden generar fisuras. Pequeñas diferencias en el contenido de humedad/temperatura entre capas adyacentes cercanas a la superficie no conducen a la fisuración

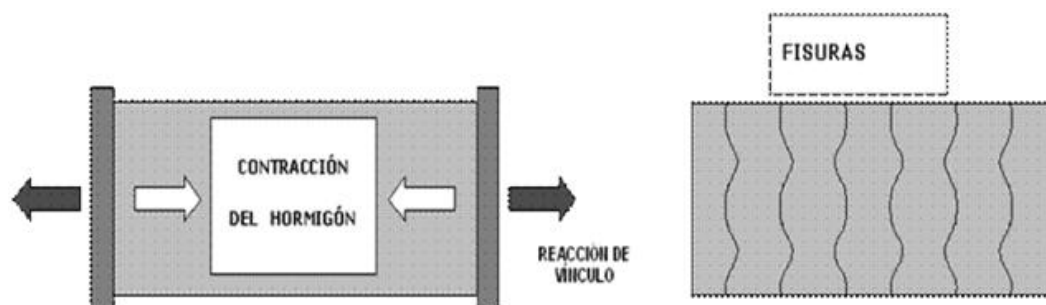


Figura 3.6 Fisuración por efecto de la contracción impedida.

(Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Concreto)

Ondulación o alabeo.- Este es un problema común en losas colocadas en el terreno. Este es causado por los gradientes desiguales de humedad y temperatura a través del espesor de la losa. El alabeo se incrementa a medida que aumenta la contracción por secado. Las superficies de losas, usualmente están secas en la parte superior, en donde están expuestas al aire, y húmedas en la parte inferior, en donde están expuestas al suelo. La superficie seca tiende a contraerse a lo largo, en relación con la superficie húmeda de la parte inferior. La contracción de la superficie superior solo puede aliviarse por medio de la ondulación o alabeo de la losa hacia arriba.

La situación típica es el calentamiento solar de la superficie superior de la losa causando una temperatura más alta en esta superficie. La superficie superior tiene entonces una tendencia a crecer a lo largo con relación a la superficie inferior. Ocurre un alivio en el esfuerzo cuando la losa se ondula hacia abajo.

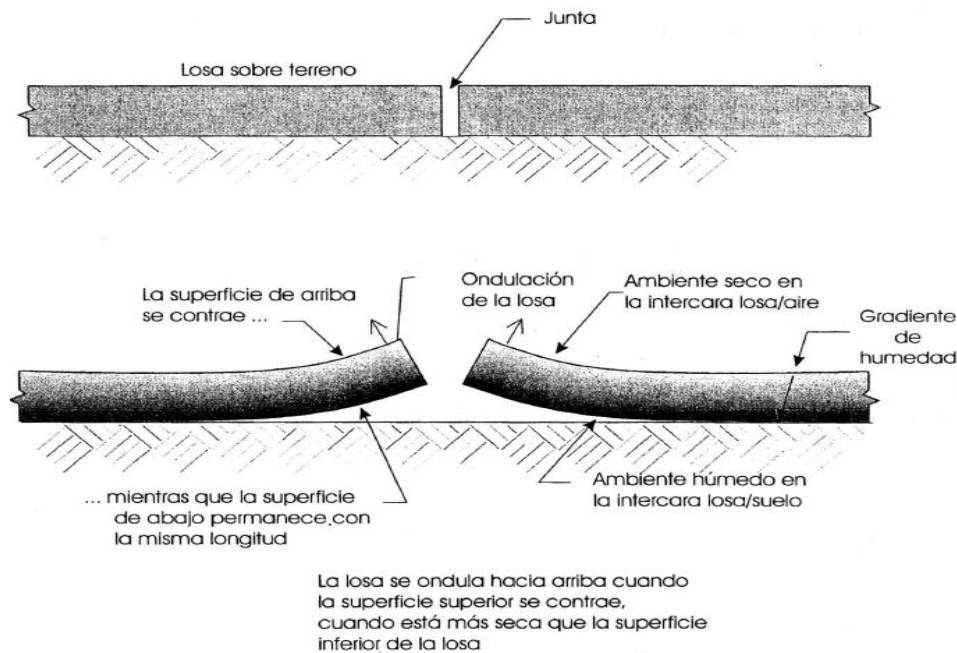


Figura 3.7 Ondulación o alabeo

(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Elementos estructurales de Secciones variables.- Situación que puede darse con cierta frecuencia, una vez que se desmolda, las partes delgadas se secan más rápido que las partes gruesas, contrayéndose antes. Las partes gruesas constituyen un vínculo interno y se pueden originar fisuras que arrancan justamente en el encuentro entre las partes gruesas y delgadas. En una sección como la que se esquematiza en la Figura, el ala se seca más rápido que el alma, contrayéndose. El alma actúa como vínculo “interno”, provocando fisuras en el ala, que arrancan desde el alma.



Figura 3.8 Fisuras en elemento estructural de sección variable

(Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Concreto)

Un efecto similar ocurre cuando se desmolda un elemento de hormigón y hay una gran diferencia entre la temperatura del hormigón y la del aire (hormigón caliente y aire frío). La

superficie expuesta del hormigón se enfría rápidamente, contrayéndose y la parte interna no, imponiéndole consecuentemente una restricción a la libre deformación. Esto genera tensiones de tracción sobre el hormigón externo que pueden generar una fisuración superficial con aspecto de mapeo.

Hormigón masivo.- El problema puede resumirse en forma sencilla como sigue: los grandes volúmenes de hormigón tienen gran dificultad para disipar el calor, por lo que la temperatura aumenta a causa del calor generado en las reacciones de hidratación del cemento. La condición final de equilibrio térmico podría asociarse a la temperatura media anual. En el proceso de enfriamiento se pueden producir tensiones, tanto por vínculos externos o internos, que fisura el hormigón.

Con este objetivo pueden adoptarse distintas acciones: reducir al máximo el contenido de cemento, emplear un cemento de bajo calor de hidratación, reducir la temperatura de colocación del concreto o, incluso, emplear técnicas de post-enfriado.

3.1.3. Efectos de cargas.- Las estructuras y los elementos de concreto, soportan cargas. Algunos soportan únicamente el peso de los materiales de los cuales están elaborados, mientras que otros soportan cargas aplicadas a las estructuras.

El concreto armado está compuesto por dos tipos de materiales; concreto y acero de refuerzo. El concreto tiene excelentes propiedades de compresión, pero pobres propiedades de tensión (aproximadamente el 10% de compresión). La mayoría de los miembros de concreto están sujetos a fuerzas de tensión. Las losas y las vigas son los miembros más comunes sujetos a una tensión significativa.

Si analizamos un elemento cualquiera de una estructura de concreto armado, comprobamos que cada una de sus secciones está sometida a una sollicitación simple o, a una compuesta por varios tipos de sollicitaciones simples. Las sollicitaciones simples son las denominadas de tracción, de compresión, de flexión, de corte y de torsión.

Las varillas de refuerzo se colocan en el concreto para soportar las fuerzas de tensión. Una viga simplemente apoyada con cargas desde la parte superior experimenta tensión en su parte inferior (la tensión máxima en el centro de la luz), mientras que fuerzas de compresión están actuando en la porción superior (compresión máxima en la mitad de la luz).

Las varillas de refuerzo que están sujetas a tensión, se estiran. El concreto alrededor de las varillas de refuerzo, consecuentemente, está sujeto a tensión y se estira. Cuando se alcanza una tensión que excede a la resistencia a tensión del concreto, pueden aparecer grietas transversales cerca de las varillas de refuerzo (a menos que sean presforzadas).

Así como este caso existen diferentes casos en los cuales las estructuras experimentarían diferentes solicitaciones y distintos modos de agrietamiento pudiendo mencionar los siguientes casos más comunes:

- Tramos continuos: solicitaciones a flexión, combinación de cortante y flexión ocasiona grietas en apoyos y centro de luz
- Losa/viga a columna: solicitaciones a cortante ocasiona grietas en vigas y losas.
- Voladizos: solicitaciones de tensión por flexión, ocasiona grietas en el extremo fijo en la pared del voladizo.

Estructuras continuas: estos transfieren carga a los tramos adyacentes colindantes. Para cargas estáticas, los esfuerzos de tensión generalmente ocurren en la parte inferior (momento positivo), a la mitad del tramo, y en la parte superior (momento negativo), sobre los apoyos. El concreto en áreas de momento negativo puede estar sujeto a agrietamiento por tensión.

3.1.4. Mecanismos de desintegración del concreto.- Estos son procesos mediante los cuales los constituyentes del concreto sean forzados a apartarse (desmembramientos) a través de mecanismos de cambio de volumen expansivos o se desgasten a través de abrasión o cavitación. Las exposiciones a químicos agresivos, pueden provocar que el concreto altere su composición química, dando como resultado cambios en sus propiedades mecánicas. Dependiendo del tipo de ataque, el concreto puede ablandarse o desintegrarse, en una parte o en su totalidad.

Desintegración por congelación y deshielo.- La desintegración o el deterioro por congelación y deshielo tienen lugar cuando se presentan las siguientes condiciones:

- a) Ciclos de temperatura de congelación y deshielo dentro del concreto.
- b) Concreto poroso que absorbe agua (poros capilares llenos de agua).

El deterioro por congelación y deshielo generalmente ocurre en superficies horizontales que están expuestas a agua, o en superficies verticales que están en la línea de agua en porciones sumergidas de estructuras. El agua de congelación contenida en la estructura de poros se expande hasta convertirse en hielo. La expansión causa fuerzas de tensión localizadas que fracturan la matriz de concreto circundante. La fractura ocurre en pequeñas piezas, yendo de las superficies exteriores hacia el interior.

La velocidad del deterioro por congelación y deshielo está en función de lo siguiente:

- Porosidad incrementada (la velocidad aumenta).
- Saturación de humedad incrementada (la velocidad aumenta).
- Numero incrementado de los ciclos de congelación y deshielo (la velocidad aumenta).
- Aire incluido (la velocidad reduce).
- Superficies horizontales que atrapan agua estancada (la velocidad aumenta).
- Agregado con una pequeña estructura capilar y alta absorción (la velocidad aumenta).

Finalmente, si tenemos en cuenta todos estos conceptos, podremos definir claramente las situaciones que exigen la prevención del deterioro asociado a los ciclos de congelamiento y deshielo, lo que se consigue mediante la incorporación de aire intencionalmente incorporado. El aire intencionalmente incorporado proporciona “centros de alivio de tensiones”, para lo que debe estar distribuido uniformemente, formando burbujas pequeñas dentro de la masa. Por esto, es indispensable emplear un aditivo químico en la mezcla, denominado “incorporadores de aire”.

Ataque de sulfatos.- Los sulfatos en solución acuosa atacan a los hormigones de cemento portland provocando reacciones expansivas que pueden conducir al deterioro del elemento estructural. La presencia de sulfatos solubles (principalmente los de sodio, calcio y magnesio), los suelos o las aguas que contienen estos sulfatos con frecuencia se llaman suelos o aguas “álcali”.

Todos los sulfatos son potencialmente dañinos al concreto. Ellos reaccionan químicamente con la cal hidratada de la pasta de cemento y con el aluminato de calcio hidratado. Como

resultado de esta reacción, se forman productos sólidos con un volumen más grande que los productos que entran en la reacción.

El mecanismo de daño se asocia a la formación de compuestos expansivos, típicamente la ettringita secundaria y yeso cristalizado, como resultado se inicia la formación de escamas y la desintegración, seguido por el deterioro de la masa.

La resistencia a sulfatos del concreto se mejora por una baja relación agua-cemento y un factor adecuado de cemento, con un aluminato con bajo contenido tricalcico y con aire incluido apropiado. Con un proporcionamiento apropiado, el humo sílice (micro sílice), la ceniza volante y la escoria molida generalmente mejoran la resistencia del concreto al ataque de sulfatos, principalmente reduciendo la cantidad de elementos reactivos (calcio), necesario para reacciones de sulfato expansivo.

Exposición a químicos agresivos.- Ciertos químicos en solución atacan a varios constituyentes del concreto. Los químicos agresivos pueden dividirse en las siguientes categorías: ácidos inorgánicos, ácidos orgánicos, soluciones alcalinas, soluciones salinas, etc.

El ataque de ácidos al concreto es la reacción entre el ácido y el hidróxido de calcio del cemento portland hidratado. La reacción produce compuestos de calcio solubles al agua, que luego son lixiviados. Cuando se usan agregados de piedra caliza (calcáreo) o dolomitas, el ácido puede disolverlos. La consecuencia del ataque de ácidos es la desintegración de la pasta de cemento, quedando expuestos los agregados.



a) El agregado silíceo, quedo expuesto en la superficie y fue atacado químicamente.



b) El agregado, calcáreo, también fue atacado químicamente.

Foto 3.1 Aspecto de un concreto atacado por ácidos
(Fuente: *Manual de Rehabilitación de Estructuras de Concreto*)

Reacción álcali-agregado.- Las reacciones álcali-agregado pueden crear expansión y agrietamiento severo en estructuras y pavimentos de concreto. Los mecanismos que causan reacciones de este tipo no han sido entendidos completamente. Pero si se sabe que ciertos agregados, tales como, formas reactivas de sílice, reaccionan con el hidróxido de potasio, sodio y calcio que están en el cemento y forman un gel alrededor de los agregados reaccionantes, y cuando este gel es expuesto a humedad se expanden creando fuerzas que causan grietas por tensión y que se forman alrededor del agregado.

La reacción álcali-agregado puede pasar inadvertida por algún tiempo, posiblemente años, antes de que se desarrollen severos daños asociados. Usualmente mediante un examen petrográfico del concreto se detecta la presencia de reacciones álcali-agregado.

Abrasión y desgaste.- Las acciones asociadas a esfuerzos que provocan un desgaste de la superficie expuesta del hormigón se pueden agrupar como fenómenos de abrasión y desgaste, aunque más específicamente se considera abrasión cuando hay una acción mecánica por arrastre de sólidos sobre la superficie.

El arrastre de sedimentos en un canal revestido, la acción de neumáticos protegidos con cadenas o clavos para la circulación sobre superficies congeladas, el transporte de sólidos en una tubería de conducción y la situación de un vertedero de una presa son situaciones típicas donde se produce la erosión.

La resistencia al desgaste está asociada a la resistencia intrínseca del hormigón (resistencia a compresión), pero es particularmente importante la calidad y dureza del agregado empleado (propiedades de los agregados), y la eficiencia del curado superficial. Las operaciones de terminación y acabado superficial deben realizarse sin el agregado de agua adicional y evitando remezclar el agua exudada. Para mejorar la resistencia a la abrasión se pueden usar endurecedores minerales y/o químicos o emplear hormigones especiales (con fibras de acero, por ejemplo).

3.1.5. Defectos en la mano de obra y del proceso constructivo.- El proceso de diseño y construcción de una estructura de concreto comprende como todo proceso de construcción incluye una serie de operaciones necesarias paso a paso desde el plan conceptual a la estructura terminada que en general podemos resumirlas en las siguientes: - Diseño, - Preparación de los planos y las especificaciones, - Selección y suministro de los materiales,

- Colocación y detalle del acero de refuerzo, - Habilitado y colocación de cimbras, - Preparación y fabricación del concreto, - Colocación del concreto, - Retiro de cimbras, - Curado y finalmente estructura terminada.

Cualquiera de las etapas descriptas puede constituirse en el origen de fallas o deficiencias que pueden afectar el comportamiento de la estructura. Analizaremos algunas de las que suelen presentarse con mayor frecuencia.

Deficiencias en el detalle y/o posicionado de la armadura.- Las barras de acero que por error de proyecto o construcción resultan inadecuadas en su conformación o en su posición final terminan afectando la durabilidad o la capacidad portante de la estructura.

La localización apropiada del acero de refuerzo en las estructuras es importante debido a dos razones; primero, se coloca el acero de refuerzo el concreto para soportar las cargas de tensión, y si el acero está mal colocado, el concreto puede no ser capaz de soportar las cargas de tensión. Segundo, el acero de refuerzo requiere de un adecuado recubrimiento de concreto para protegerlo de la corrosión. Si el recubrimiento de concreto es inadecuado, no proporcionara la necesaria protección a largo plazo.

La Figura 3.9, muestra como una colocación inadecuada puede originar la disminución del brazo elástico interno y como consecuencia la sección contará con una menor capacidad portante y seguramente aparecerán las fisuras.

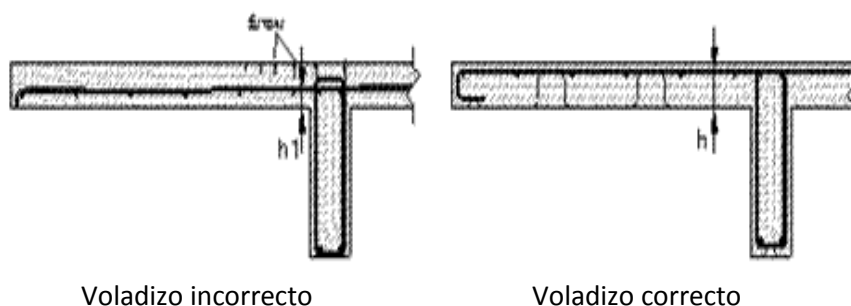


Figura 3.9 fisuras en los elementos solicitados a flexión
(Fuente: *Manual de Rehabilitación de Estructuras de Concreto*)

Una deficiencia habitual es no mantener la separación adecuada entre las barras de modo que el hormigón pueda ser colocado y compactado adecuadamente, sin que se formen vacíos. De este modo se ve afectada tanto la capacidad portante como la durabilidad

(Figura 3.10). Una situación particularmente sensible a este problema la constituyen las zonas de empalme de las armaduras.

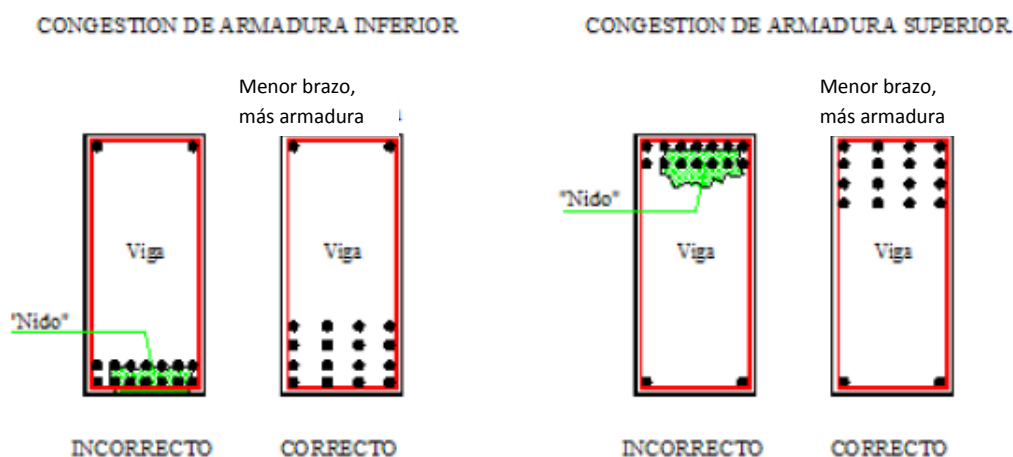


Figura 3.10 Fallas por congestionamiento de armaduras
(Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Concreto)

La falta de recubrimiento adecuado, resta protección a las armaduras disminuyendo e tiempo en que se ven afectadas por distintos factores que producen corrosión de las armaduras.

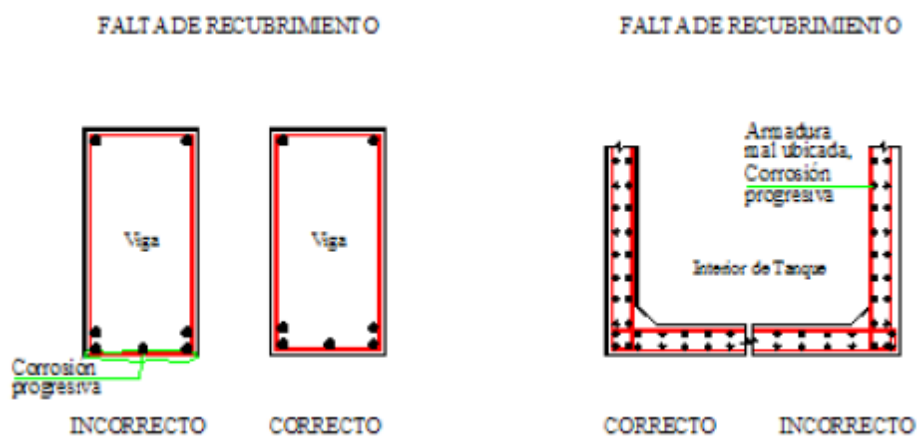


Figura 3.11 Fallas por recubrimiento inadecuado
(Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Concreto)

**Tabla 3.1 Recubrimiento de concreto exigido por ACI
para la protección contra corrosión**

Condición	Recubrimiento exigido plg. (mm)
Concreto en contacto con el suelo	3 (76)
Superficies expuestas a la intemperie	
Varillas > # 6	2 (51)
Varillas < # 5	1.5 (38)
Superficies no expuestas a la intemperie	
Vigas, trabes, columnas	1.5 (38)
Losas, muros, viguetas	
Varillas < # 11	0.75 (19)
Varillas # 14, # 18	1.5 (38)

(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Deficiencias por diseño y remoción del encofrado.- Asentamientos de los encofrados apoyados inadecuadamente o en terrenos de baja capacidad portante, o muy deformables generan deformaciones y/o fisuración de la estructura.

La separación excesiva de los puntales en elementos flexados o de los anillos en las columnas origina elementos estructurales con deformaciones iniciales.

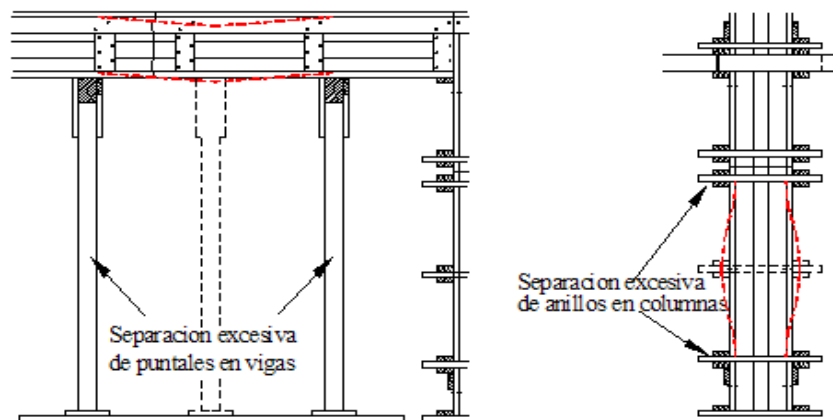


Figura 3.12 Fallas por diseño inadecuado de los encofrados

(Fuente: Manual de Rehabilitación de Estructuras de Concreto)

La remoción de los puntales cuando aún el concreto no alcanzó la resistencia suficiente puede originar sobretensiones, grietas, fisuración y aún el colapso de la estructura. Este problema, ilustrado en la Figura, se agudiza en las situaciones que se mantienen los puntales en varias plantas sin realizar re apuntalamientos o cuando se colocan cargas importantes sobre los entrepisos en construcción.

3.2. Evaluación del concreto

El primer paso de cualquier proyecto de reparación, es una evaluación minuciosa y lógica de la estructura. El concreto puede ser defectuoso por varias razones, incluyendo diseño inadecuado, selección de materiales y/o mano de obra inadecuados. El concreto también puede deteriorarse o dañarse por el uso. El concreto en una estructura tiene diferentes funciones primero y más importante, como un material estructural, el concreto está diseñado para soportar cargas, además proporciona protección al acero de refuerzo, la adherencia entre los constituyentes individuales, es de la mayor importancia para las propiedades del material compuesto. El concreto debe estar adecuadamente adherido al concreto circundante soportando cargas de diseño previstos.

La pérdida de funcionalidad de las estructuras de concreto generalmente se presenta como algún trastorno visible, por ejemplo, agrietamiento, lixiviación, astillamiento, descascaramiento, manchado, desintegración, desgaste, asentamiento o deflexión.

La evaluación de las estructuras de concreto, es importante la determinación de factores tales como la causa de la pérdida de funcionalidad y seguridad estructural, para establecer un panorama general de los problemas encontrados. A continuación estudiaremos de forma general los métodos más usados para evaluar el concreto.

Propiedades Mecánicas	Composición Química	Condición Física	Manifestación Externa (comportamiento)
Resistencia compresión -Prueba de corazones (1) -Sonda Windsor (3) -Martillo de rebote (2)	Actividad Electroquímica -Potencial de semicelda (9) -Resistividad eléctrica (10)	Uniformidad -Análisis petrográfico (11) -Velocidad Ultrasónica de pulso (4) -Sonda Windsor (3) -Martillo de rebote (2) -Prueba de corazones (1)	Grietas/Astillas -Sondeo con martillo -Termografía infrarroja -Eco de impacto -Velocidad Ultrasónica de pulso (4) -Remoción exploratoria -Vista Remota (TV Barrenoscopio) -Remoción exploratoria
Calidad del Concreto -Velocidad Ultrasónica de pulso (4)	Profundidad de Carbonatación -Indicadores a base de ácidos (solución de fenoltaleína) -Análisis petrográfico (11) -Difracción de rayos X -Espectroscopia infrarroja	Sistema de hueco de aire (15)	Deflexiones por carga de servicio -Prueba de carga (ACI 437R) -Movimiento de monitoreo
Resistencia a tensión -Prueba de jalón (1) - Resistencia a tensión por separación (5)	Reacciones álcali-agregado -Análisis petrográfico (11) -Método de fluorescencia de Acetato de uranilo (uranio)	Delaminaciones/Huecos -Sondo con Martillo -Arrastre de cadena -Eco de impacto - Velocidad Ultrasónica de pulso (4) -Remoción exploratoria -Vista Remota (TV Barrenoscopio)	Fugas -Observaciones visuales -Termografía infrarroja
Resistencia a Flexión (6) y (7)	Contenido de Cloruros (12)(13)(14)	Localización/Condición de materiales ahogados -Pochometro -Radiografía -Radar penetrante en el suelo -Remoción exploratoria	Condiciones de Temperatura/Humedad -Termopar -Termómetro
Resistencia Abrasión (8)		Permeabilidad al agua	Geometría externa -Observaciones Visuales
Resistencia de Adherencia. -Prueba de jalón		Permeabilidad al aire	
		Absorción de agua (19)	
		Resistencia a Congelación y deshielo (16) (17)	
		Resistencia a sales descongelantes (18)	

Figura 3.13 Métodos de pruebas estándar para la evaluación del concreto
(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Tabla 3.2 Métodos de pruebas estándar para la evaluación del concreto

Nº	Designación	Título
1	ASTM C 42	Obtención y prueba de corazones barrenados y vigas aserradas de concreto
2	ASTM C 805	Numero de rebote del concreto endurecido
3	ASTM C 803	Resistencia a penetración del concreto endurecido
4	ASTM C 597	Velocidad del pulso a través del concreto
5	ASTM C 496	Resistencia a tensión por separación de especímenes cilíndricos de concreto
6	ASTM C 78	Resistencia a flexión del concreto (usando una viga simple con carga en los tercios)
7	ASTM C 293	Resistencia a flexión del concreto (usando una viga simple con carga en el centro)
8	ASTM C 418	Resistencia a Abrasión del concreto por sopeteado con arena
9	ASTM C 876	Potenciales de semicelda acero de refuerzo sin recubrimiento en concreto
10	ASTM C 3633	Resistividad eléctrica de sistemas membrana - pavimento
11	ASTM C 856	Practica estándar para el examen petrográfico del concreto endurecido
12	ASTM T 259	Resistencia del concreto a la penetración de iones de cloruro
13	ASTM T 260	Muestreo y pruebas para el total de iones de cloruro en el concreto y las materias primas del concreto
14	ASTM T 277	Determinación rápida de la permeabilidad de cloruros del concreto
15	ASTM C 547	Determinación microscópica de parámetros del sistema aire-vacio en concreto endurecido
16	ASTM C 666	Resistencia del concreto a la rápida congelación y deshielo
17	ASTM C 671	Dilatación critica de especímenes de concreto sometidos a congelación
18	ASTM C 672	Resistencia a descascaramiento de superficies de concreto expuestas a químicos descongelantes
19	ASTM C 642	Gravedad especifica, absorción, y vacios en el concreto endurecido

(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Procedimiento de la evaluación del estado actual.- Los pasos en una evaluación típica de una estructura de concreto son:

- Inspección visual.- Es decir inspeccionar de forma superficial la estructura y analizando las señales que da el concreto.
- Revisión de los datos de ingeniería.
 - a) Documentación del diseño y construcción
 - b) Registros de servicio y mantenimiento.
 - c) Registros del concreto (incluyendo materiales utilizados).
 - d) Reporte de inspecciones periódicas.
- Examen del estado actual.
 - a) Levantamiento de diferentes deficiencias
 - b) Revisión y análisis de las juntas
 - c) Pruebas no destructivas
 - d) Monitoreo
 - e) Muestreo y prueba
 - f) Análisis estructural
- Evaluación final.
- Reporte del análisis de la evaluación.

Los resultados de cualquier evaluación, especialmente para determinar la causa y el alcance del problema, solo son tan exactos como lo sean el empeño la comprensión aplicados al proceso. La revisión superficial o la inspección por medio de una caminata no producirá una evaluación tan exacta como una investigación detallada y profunda que involucre levantamiento, muestreo pruebas necesarias y el empeño puesto en la inspección.

3.2.1. Investigación visual y exploratoria.- Cualquier investigación profunda empieza con una revisión visual de las condiciones. Los indicadores claves de un problema son:

1. Agrietamiento (grietas menudas)
2. Trastorno en la superficie
 - a) Astillamiento
 - b) Oquedades en la superficie
 - c) Desintegración de la superficie
 - d) Descascaramiento
3. Fugas de agua
 - a) Humedad superficial
 - b) Percolación o fugas a través de juntas o grietas

4. Movimientos
 - a) Deflexiones
 - b) Asentamiento
 - c) Levantamiento
5. Corrosión del metal
 - a) Manchas por herrumbre
 - b) Varillas de refuerzo expuestas
 - c) Torones de cables postensados expuestos
6. Varios
 - a) Ampollas en membranas y recubrimientos
 - b) Decoloración
 - c) Estancamiento de agua

El examen visual, el mapeo sobre un papel de la localización de los problemas, y luego la revisión de esto junto con los planos y registros de construcción al momento de haberse llevado a cabo, pueden proporcionar un panorama general de los problemas y posibles indicaciones de las causas.

El examen visual con frecuencia da como resultado otras preguntas respecto a la extensión y detalles del daño o los trastornos. Una manera útil para dar respuesta a estas preguntas es la remoción exploratoria del concreto para exponer los elementos ocultos. El cincelado y la obtención de corazones son los métodos de exploración más comunes.

3.2.2. Localización de concreto delaminado (métodos de emisiones acústicas y termografía).- El sondeo del concreto con un martillo proporciona un método preciso y económico para identificar áreas delaminadas. Cuando se golpean áreas de concreto delaminado, el sonido cambia de "tin" a un sonido hueco "toc". Las fronteras de las delaminaciones pueden determinarse fácilmente sondeando áreas en el primer sonido "toc" hasta que se escuchen sonidos "tin".

El sondeo de grandes áreas usando martillo generalmente resulta muy agotador por el tiempo requerido. Se dispone de métodos de sondeo más productivos cuando se trabaja con superficies horizontales. El arrastre de cadenas logra el mismo resultado que el sondeo con martillo. A medida de que la cadena se arrastra a través de la superficie de concreto, se escucha un sonido marcadamente diferente cuando cruza encima de un área delaminada.

También se disponen de sistemas electrónicos automáticos, que eliminan la necesidad de que un operador escuche las diferencias en las emisiones acústicas. Sin embargo, se ha

probado que estos métodos sólo dan una descripción general de las áreas de delaminación. Consecuentemente, debe usarse solamente para una valoración general, no para los trazos detallados que se requieren para la reconstrucción.

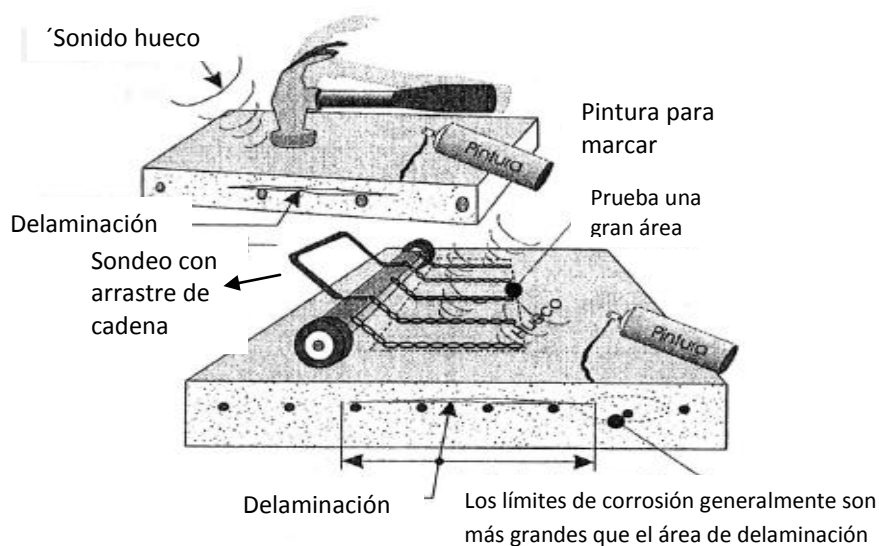


Figura 3.14 Método de emisiones acústicas (Sondeo con martillo y cadena)

(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

La termografía infrarroja es un método útil para detectar delaminaciones en tableros de puente. Este método también se usa para otros componentes de concreto expuestos a la luz directa del sol. El método funciona con base en el principio de que al calentarse o enfriarse el concreto, existe un ingrediente térmico sustancial dentro del concreto debido a que el concreto es un pobre conductor de calor. Las delaminaciones y otras discontinuidades interrumpen la transferencia de calor a través del concreto. Estos defectos provocan una temperatura de la superficie más alta que el concreto circundante durante los periodos de calentamiento, y una temperatura de superficie más baja que el concreto circundante durante los periodos de enfriamiento. El equipo puede registrar e identificar áreas de delaminación e indicar la profundidad de las delaminaciones por debajo de la superficie.

3.2.3. Localización de huecos, grietas y oquedades

Método de eco de impacto.- Siempre ha sido difícil detectar defectos debajo de la superficie de concreto. Los desarrollos recientes en la tecnología de instrumentos y computadoras pueden proporcionar un método confiable para localizar huecos, grietas, oquedades, y otras imperfecciones.

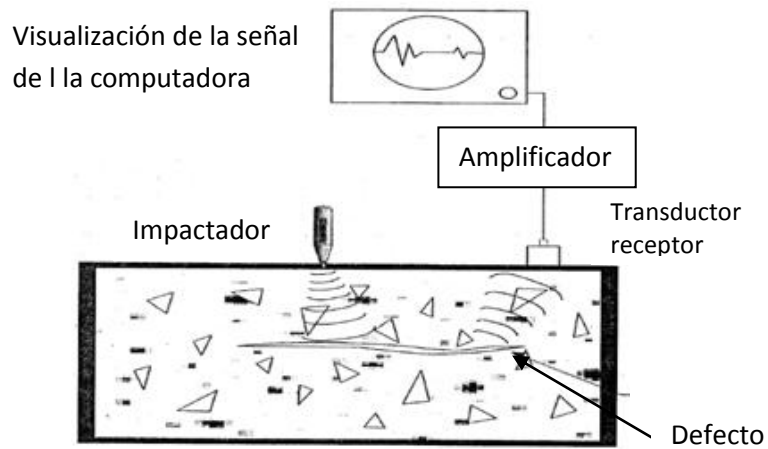


Figura 3.15 Método de eco de impacto

(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Las técnicas de eco de impacto funcionan impactando la superficie de concreto con un impulso de esfuerzo de corta duración que es reflejado desde los defectos y las fronteras externas nuevamente hacia un receptor (transductor). Las señales recibidas son convertidas en un espectro de frecuencia y luego son visualizadas en una pantalla de computadora. Usa software de inteligencia artificial para analizar estas señales, pronosticando la probabilidad y profundidad de los defectos. El sistema trabaja rápidamente dando aproximadamente dos segundos para procesar cada lectura.

Vista a distancia dentro de la estructura.- Puesto que el acceso a ciertas partes de una estructura puede estar limitado, la vista a distancia puede ser la única manera para inspeccionar estas áreas. Las fibras ópticas (barrenoscopio), las cámaras de video, y los periscopios son herramientas que permiten visualización a distancia. El método de fibras ópticas utiliza un manojo de fibras de vidrio que transmiten luz al sujeto que está siendo observado. Después las imágenes son transmitidas de vuelta a una lente para ser vistas con los ojos o con una cámara. Con este método, las vistas están limitadas a áreas pequeñas, ya que los agujeros taladrados pueden ser tan pequeños de hasta media pulgada (1.27 cm) para la penetración del barrenoscopio.

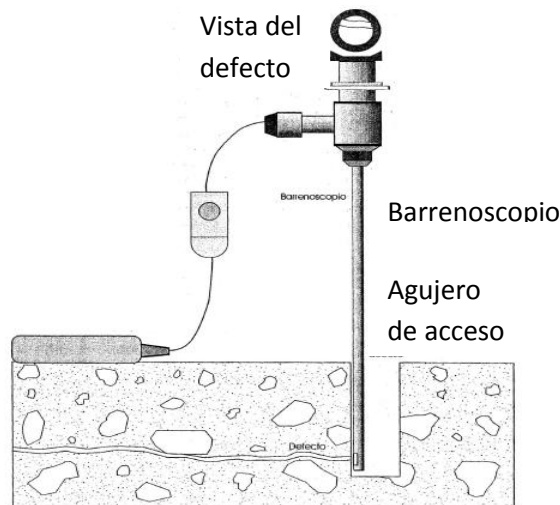


Figura 3.16 Método de barrenoscopio

(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Métodos de velocidad ultrasónica de pulso.- La velocidad de pulso es la medición del tiempo de tránsito de un pulso ultrasónico entre un transmisor y un receptor. Si se conoce la distancia entre el transmisor y el receptor, puede determinarse la velocidad del pulso (distancia dividida entre el tiempo). En general, mientras más denso y fuerte (compresivo) es el concreto que se está probando, mayor es la velocidad del pulso. Para probar el concreto, se hace un contacto entre el contacto y el transmisor y receptor con un agente de acoplamiento tal como una gelatina de petróleo. La velocidad de las ondas de sonido a través del concreto se reduce por la presencia de huecos o grietas.

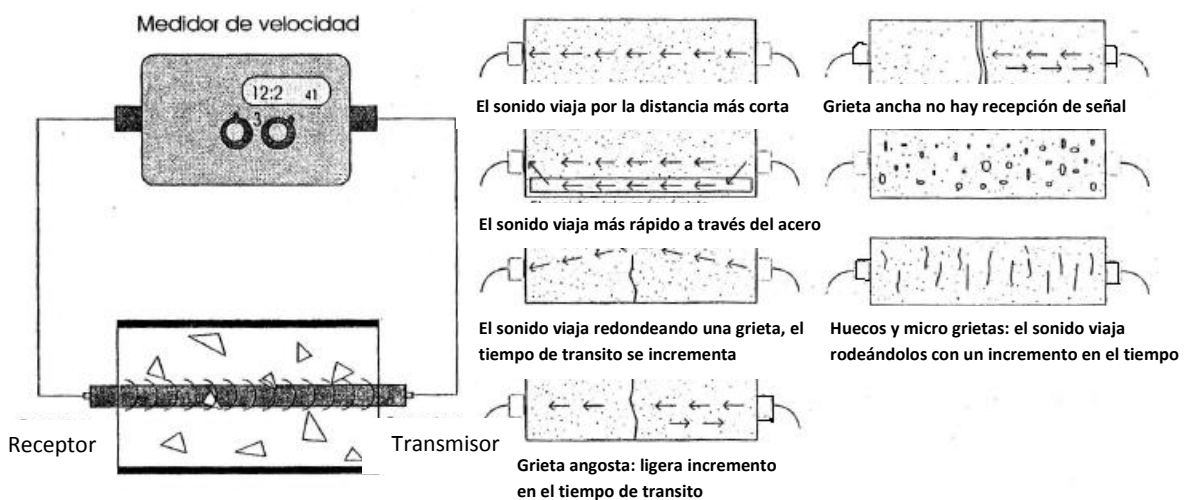


Figura 3.17 Métodos de velocidad ultrasónica de pulso

(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

La velocidad de tránsito también es influenciada por la presencia de acero de refuerzo. Si el acero de refuerzo corre paralelo a la propagación de las ondas, la influencia del acero será alta reduciendo así el tiempo de tránsito. El método de velocidad de pulso es una herramienta excelente para comparar rápidamente la uniformidad del concreto desde una parte de la estructura a otra.

3.2.4. Medición de la actividad de corrosión.- La corrosión del refuerzo es la degradación electroquímica del acero en el concreto. Ocurre cuando la pasividad del acero es destruida por la carbonatación o por iones de cloruro y se desarrollan celdas electroquímicas. Cuando el acero se corroe en el concreto, existe una diferencia de potencial entre las áreas anódicas de las semiceldas y las áreas catódicas de las semiceldas en el acero.

Estas diferencias pueden ser detectadas colocando una semicelda de cobre-sulfato de cobre en la superficie del concreto y midiendo las diferencias de potencial entre el acero de refuerzo y una esponja mojada sobre la superficie del concreto. La celda de referencia conecta la superficie de concreto a un voltímetro de alta impedancia, el cual también está conectado eléctricamente a la carpeta del acero de refuerzo. Luego el voltímetro lee la diferencia de potencial en el lugar de la prueba. Estas lecturas se toman en una base de rejilla, y se convierten en un mapeo de gradiente de potencial.

Generalmente se está de acuerdo en que mediciones de potencial de una semicelda pueden ser interpretadas como sigue:

- Menos negativo que -0.20 volts indica un 90% de probabilidad de que no haya corrosión.
- Entre -0.20 y 0.35 volts, la actividad de la corrosión es incierta.
- Más negativo que -0.35 volts, indica una probabilidad mayor del 90% de que está ocurriendo corrosión.

Si se obtienen lecturas positivas, generalmente significa que hay insuficiente humedad en el concreto y que las lecturas no son válidas. Estas pruebas no indican la velocidad de la corrosión las mediciones sólo manifiestan el potencial para la corrosión en el momento de la medición.

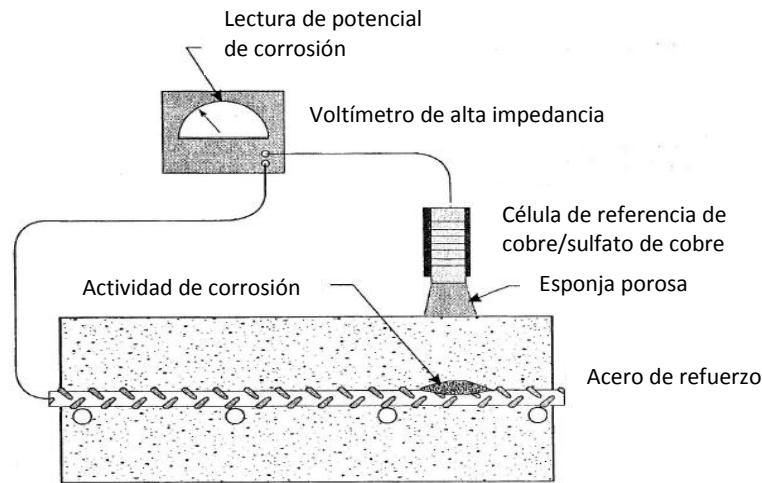


Figura 3.18 Método del voltímetro

(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

3.2.5. Contenido de cloruro.- Puesto que la cantidad de cloruros presentes en el concreto reforzado puede afectar grandemente su rendimiento, la evaluación del contenido de iones de cloruro es un método de prueba importante. Se hace tomando una muestra de concreto de la estructura, ya sea extrayendo concreto pulverizado usando un martillo rotatorio de percusión (preferentemente eléctrico), o usando corazones y luego pulverizando el concreto en el laboratorio. Generalmente las muestras de pulverización en el campo se toman en diferentes lugares del miembro sospechoso y que está bajo investigación.

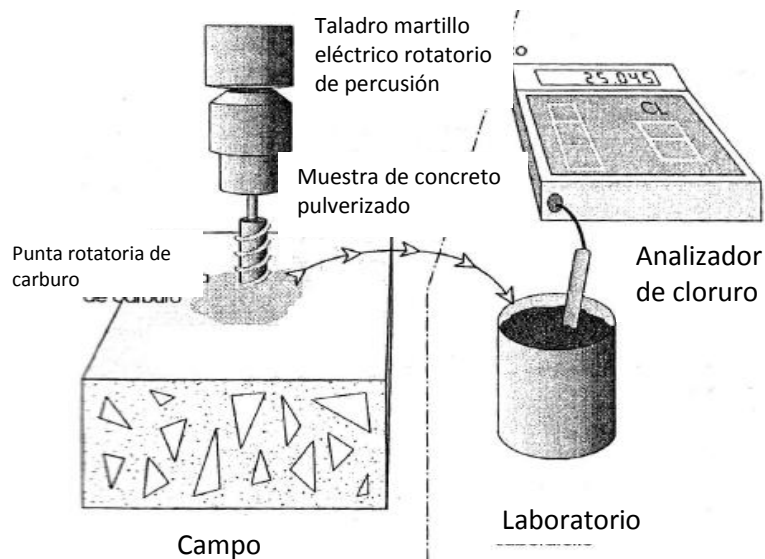


Figura 3.19 Evaluación del contenido de cloruros

(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

En cada nivel de muestreo, se recoge el material pulverizado y se almacena en un contenedor limpio, el agujero se limpia con una aspiradora, y la siguiente muestra se extrae al siguiente nivel de profundidad deseado. Donde tengan que barrenarse agujeros profundos, hay que tener cuidado para evitar la contaminación de la muestra debido a la abrasión de la broca del barreno rotatorio contra la pared del agujero.

3.2.6. Profundidad de carbonatación.- La carbonatación del concreto es la reacción entre los gases acidificadores que existen en el aire, la humedad y la pasta alcalina de cemento. Para determinar la profundidad de carbonatación, debe estar expuesta una superficie de concreto fresco. Esto puede hacerse con muestras de corazones de la superficie sospechosa y rompiendo longitudinalmente el corazón con un martillo y un cincel. La posición del frente de carbonatación se mide rociando la superficie de concreto con un indicador a base de ácidos que cambia los colores a un pH de aproximadamente 10, indicando la intercara entre las zonas carbonatadas y no carbonatadas.

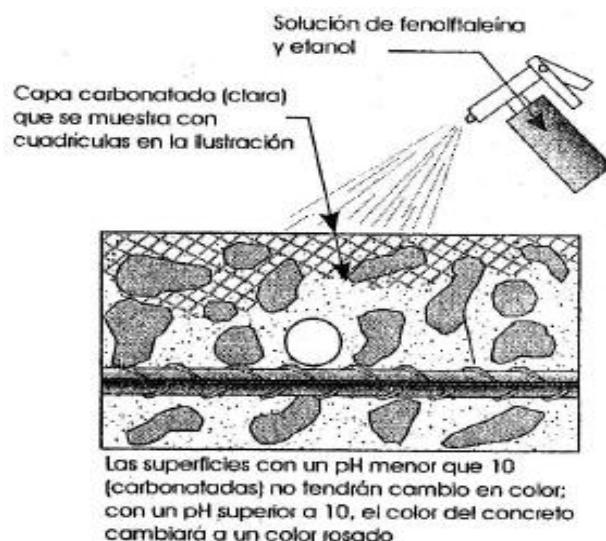


Figura 3.20 Profundidad de carbonatación

(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

El indicador más comúnmente usado para este propósito es una solución de fenolftaleína, que da al concreto un intenso color rojo (rosa) a valores de pH mayores que 10, y que no tiene color a valores de pH menores que 10. No se espera que los indicadores de pH den el valor exacto de pH del concreto, sino simplemente que midan la profundidad de la capa alterada por carbonatación.

3.2.7. Resistencia de adherencia sobre capas sobrepuestas y recubrimientos; prueba de jalón (pull-off).- La determinación de la resistencia de adherencia de capas superpuestas y otros materiales adheridos a la superficie puede realizarse a través de pruebas en el sitio. Una prueba útil en el sitio es la prueba del jalón, que mide la adherencia entre dos capas. En esta prueba, se toma una muestra de sondaje a través de la capa superficial que traspasa hasta la segunda capa, proporcionando una localización aislada para la prueba en donde puede fijarse el probador de jalón. Una vez que se ha fijado, el probador genera una fuerza de tensión sobre la muestra hasta que ocurre una falla por tensión. Existen tres tipos de fallas por tensión posibles:

- Falla en la capa del sustrato
- Separación en la intercara entre el sustrato y la capa superficial (falla de adherencia)
- Falla en la capa superficial

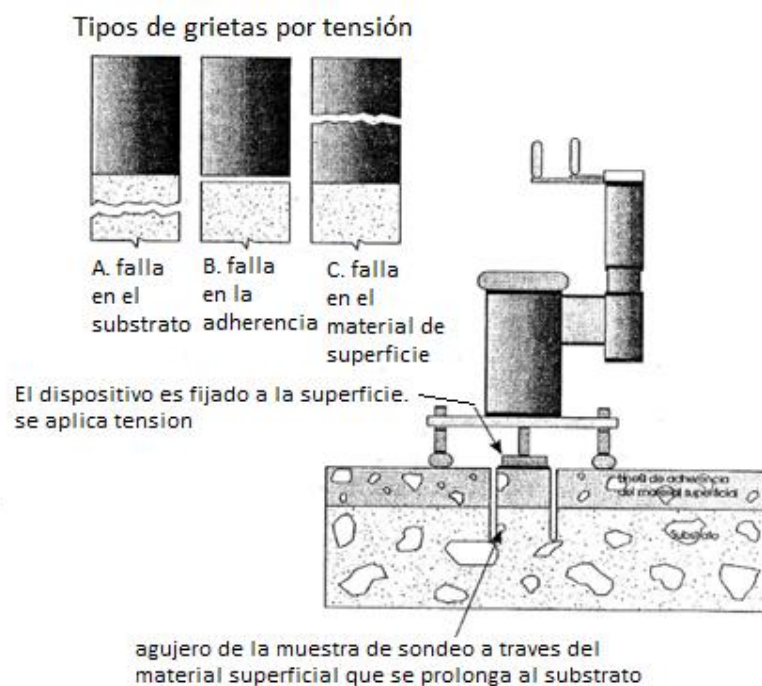


Figura 3.21 Prueba de jalón (pull-off)

(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

El dispositivo de prueba también puede registrar la fuerza requerida para causar la falla, la cual, si se divide entre el área de la superficie del espécimen, dará como resultado la resistencia a tensión (psi). Los resultados de la prueba de jalón se ven grandemente

influenciados por el tamaño del agregado, el tamaño de la muestra, el alineamiento del dispositivo a la superficie y el cuidado que se tenga en realizar la prueba. Los resultados se usan mejor en una revisión cualitativa de la adherencia entre los materiales.

3.2.8. Resistencia a compresión en el sitio: Métodos de rebote y penetración (esclerómetro).- Los métodos de rebote y penetración se usan para medir la dureza de la superficie del concreto. Puesto que la dureza de la superficie es proporcional a la resistencia a compresión del concreto, estas resistencias pueden ser pronosticadas con una exactitud de $\pm 25\%$. Los métodos de rebote (Martillo Schmidt o Martillo Suizo) utilizan un macizo cargado por un resorte que se impacta en la superficie, haciendo que el mecanismo rebote. Se mide el rebote y se compara con la extensión inicial del resorte, generando un número de rebote. El rebote puede ser afectado por el ángulo de prueba, la suavidad de la superficie, el tipo de agregado, la carbonatación del concreto, y el contenido de humedad. Cuando se está evaluando el concreto, el método de rebote se usa mejor sólo para medir la uniformidad general del concreto, y para identificar áreas cuestionables pueden requerirse estudios más amplios.

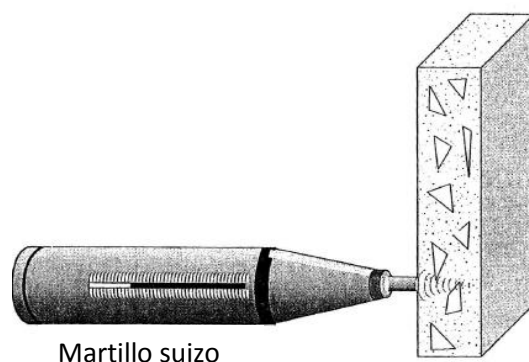


Figura 3.22 Método de Esclerómetro

(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Los métodos de penetración son similares a los métodos de rebote, pero utilizan energía más potente para meter por la fuerza una sonda en la superficie del concreto. La Sonda Windsor, el tipo más común de métodos de penetración, mete una sonda de una aleación endurecida de $\frac{1}{8}$ de pulgada (6mm) de diámetro en el concreto, usando una carga de pólvora. La longitud expuesta de la sonda se mide y se usa para determinar la resistencia a compresión. La exactitud de la determinación de la resistencia a compresión está sujeta a

muchas variables, tales como el tipo de agregado. La calibración de la Sonda Windsor se hace mejor obteniendo y probando un corazón de concreto que se saca de una estructura que está siendo investigada.

3.3. Reparación de superficies de concreto

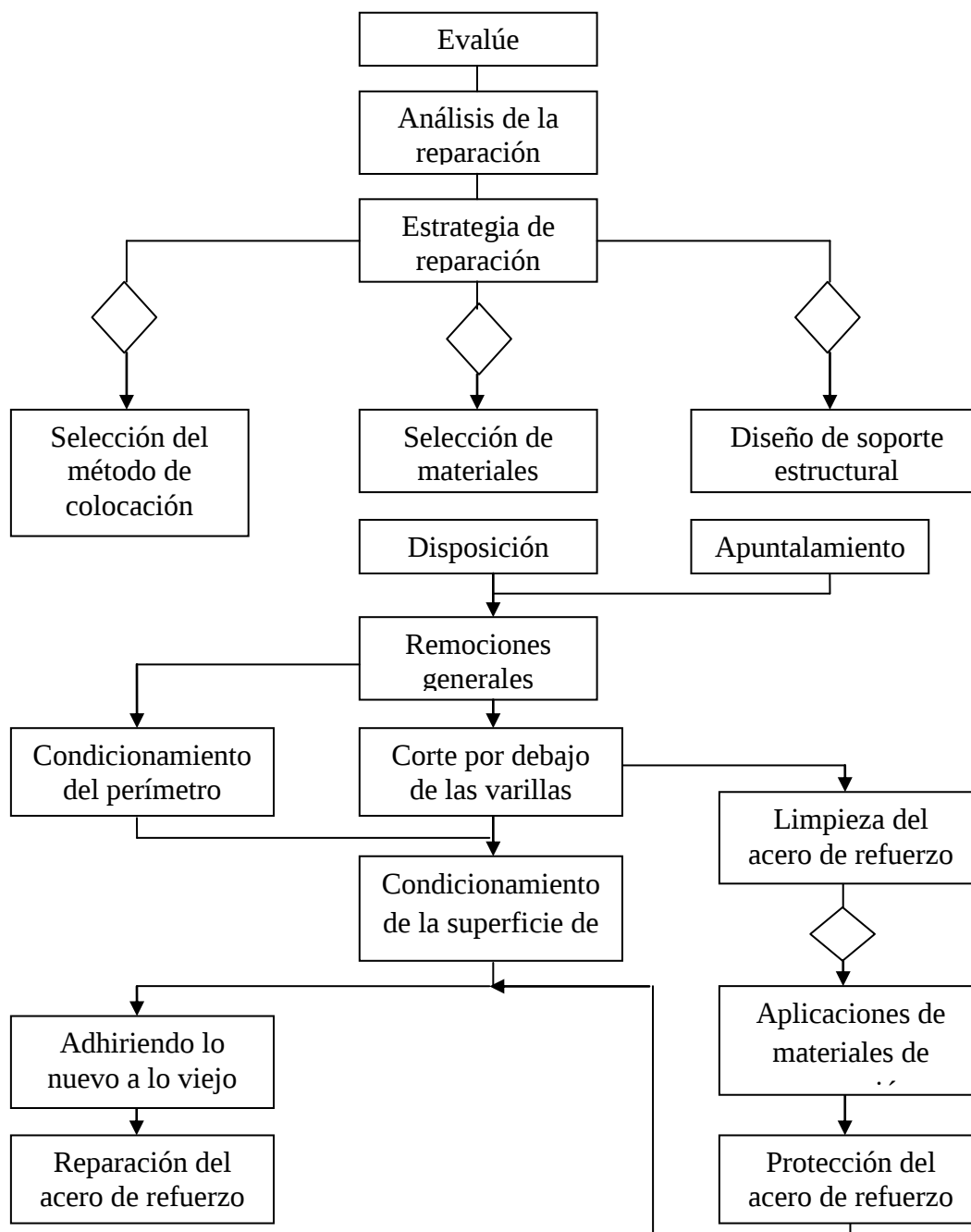


Figura 3.23 Diagrama de flujo procedimientos generales de reparación de superficies

(Fuente: Manual ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

La reparación de superficies de concreto se ha practicado desde que se hizo la primera colocación de concreto. Las actuales y avanzadas técnicas para la reparación de superficies requieren de un conocimiento efectivo de pruebas y evaluación del material, ingeniería estructural, herramientas y efectos, la preparación de superficies, propiedades y comportamiento de los materiales, reglamentaciones ambientales y tecnología de colocación. Lograr reparaciones durables y efectivas no es un proceso seguro. Muchas cosas pueden marchar mal, existen pocas redundancias, y muchos pasos dependen del éxito de otros.

El anterior diagrama de flujo detalla estos pasos importantes involucrados en la reparación de superficies: Análisis, estrategia y diseño de una reparación, Selección de materiales, Preparación de superficies, Limpieza, reparación y protección del acero de refuerzo, Adherencia de la reparación al sustrato existente y Técnicas de colocación.

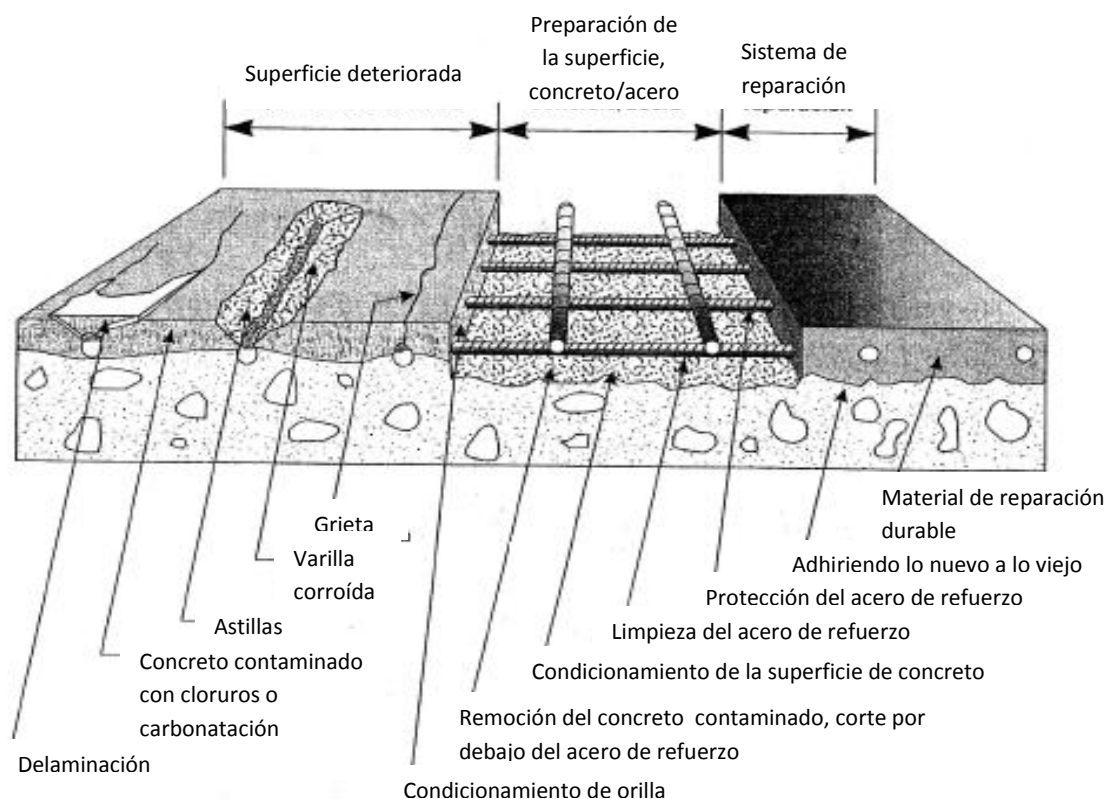


Figura 3.24 Anatomía de la reparación de superficies.

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

3.3.1. Análisis, estrategia y diseño.- El proceso de solución de problemas en la reparación del concreto incluye análisis, estrategia y diseño de la reparación. Debe llevarse a cabo una evaluación muy amplia, incluyendo el alcance, tanto de la causa como el efecto del daño. Los resultados de la evaluación, junto con las necesidades y requerimientos del usuario, forman la información externa necesaria. Para empezar el proceso de diseño. El diseño presenta una solución basada en consideraciones de durabilidad, factibilidad para la construcción y compatibilidad con la estructura existente.

La información que se genera en esta fase previa es la base para orientar la selección de la intervención. Se estudia la respuesta de una estructura existente con muchas incógnitas (algunas incontestables), a las acciones mecánicas y reológicas cuya historia es a su vez en general desconocida en profundidad, al contrario que en un proyecto nuevo en el que se definen como hipótesis de partida. La intervención requerirá un proyecto que ha de tener en cuenta como ha respondido la estructura (que debe basarse en el diagnóstico realizado), y como va a responder y a evolucionar ante las actuaciones que sobre ella se lleven a cabo.

Requisitos de desempeño.- Los problemas de deterioro de la superficie son diversos por naturaleza. Cada condición requiere una clara comprensión de lo que se espera de la reparación. Tres requisitos generales de desempeño son protección, apariencia y soporte de carga. El objetivo del análisis de reparación es el de determinar la función exacta de la reparación, de modo que pueda especificarse las propiedades necesarias del material de reparación.

Necesidades estructurales.- Una reparación de una superficie de concreto debe de reemplazar el concreto dañado, restaurar la función estructural requerida, protegerse a sí mismo y posiblemente al concreto subyacente contra ambientes agresivos, y restaurar cualquier requerimiento de desempeño del usuario. Es importante analizar todos los posibles esfuerzos en el material de reparación y en la intercara entre la reparación y el sustrato existente. Los esfuerzos en la reparación son generados por cambios relativos de volumen entre la reparación y el sustrato de concreto existente, y por cargas de servicios soportadas por la reparación. Los esfuerzos en la reparación deben estar dentro de la capacidad de los materiales nuevos y existentes. De otro modo puede ocurrir una falla.

En muchas situaciones, es difícil lograr la función de sostener cargas de la reparación de la superficie. Donde se ha perdido una cantidad significativa de material en la zona de compresión, las cargas se redistribuyen por sí mismas alrededor del área dañada.

A fin de recrear la distribución de carga original, debe de proveerse un alivio completo de carga durante el proceso de reparación de la superficie. El material de reparación debe ser instalado, curado, y después de que el material alcance la resistencia especificada, permitirá que las cargas descansen sobre los miembros. El alivio de carga de los miembros típicamente es proporcionado un medio de apuntalamiento y por gatos temporales.

Los cambios relativos de volumen causados por la contracción por secado del nuevo material poner en tensión la reparación (suponiendo que el material de reparación esté restringido sin que pueda contraerse por la adherencia entre el material de reparación y el concreto existente). En la mayoría de las aplicaciones, la condición deseable es de tener la reparación en un estado de compresión, de modo que puedan sostenerse este tipo de cargas.

Tipos de esfuerzo que actúan en las reparaciones

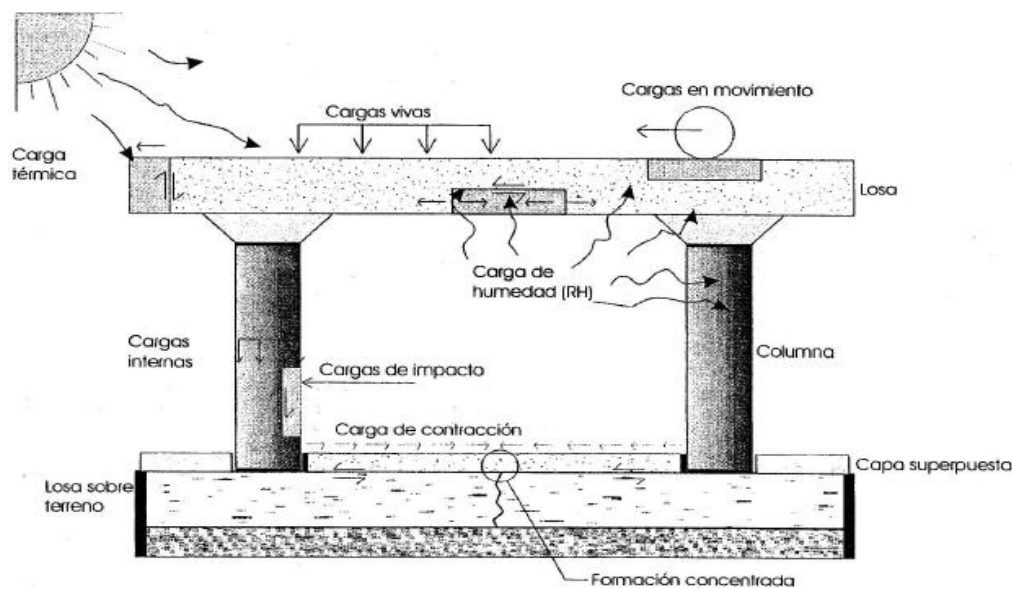


Figura 3.25 tipos de esfuerzos presentes en una reparación
(Fuente: *Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto*)

Lista de verificación de posibles fuerzas que actúen en la reparación:

- Fuerzas estructurales (internas)
- Cargas estáticas concentradas (externas)
- Cargas en movimiento (horizontal y vertical)
- Cargas de impacto

- Expansión por temperatura
- Expansión por shock térmico
- Expansión por humedad interna
- Deformación concentrada (agrietamiento por flexión)
- Contracción por temperatura
- Contracción por shock térmico
- contracción por humedad interna

Cada una de estas fuerzas puede actuar por si sola o en combinación. La orientación de la fuerza y la configuración de la reparación indicaran el tipo de esfuerzo que actúa en la reparación.

Distribución de esfuerzo en la zona de compresión de miembros en flexión.- El deterioro en las zonas de compresión de los miembros en flexión da como resultado la redistribución de esfuerzo a la sección de concreto sano restante. La pérdida significativa de sección puede dar como resultado sobreesfuerzo y deflexión excesivas. La remoción de la carga durante las operaciones de reparación permite que la reparación soporte la proporción esperada de la carga.

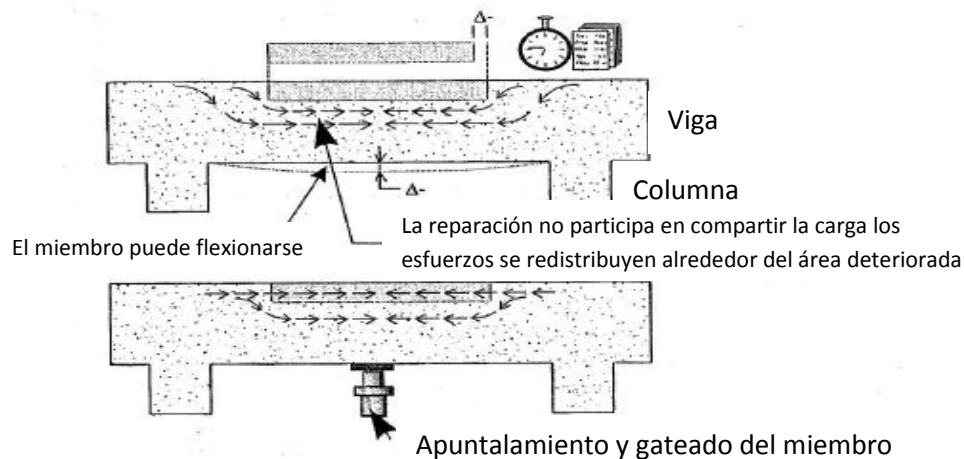


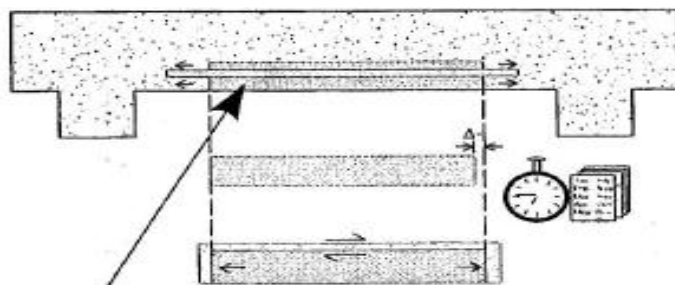
Figura 3.27 Distribución de esfuerzos a flexión en zona de compresión

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Distribución de esfuerzo en la zona de tensión de un miembro en flexión.- El deterioro en las zonas de tensión de los miembros en flexión expone el refuerzo del acero en tensión. La mayor parte de la tensión, si no es que toda, está soportada por el acero de refuerzo. La carga generalmente no se redistribuye alrededor del área deteriorada, a menos que el acero en tensión haya perdido la sección transversal en el proceso de corrosión. Si el acero tiene una sección perdida, puede dar como resultado deflexiones excesivas. Durante el proceso

de reparación, es deseable el alivio de las cargas de tensión y generalmente se logra por medio del soporte temporal del miembro afectado, El apuntalamiento activo (apuntalamiento que sostienen las cargas actuantes muertas y vivas del miembro) permitirán la reparación de las varillas de refuerzo dañadas a un bajo nivel de esfuerzo. Después de completar las reparaciones y la remoción del apuntalamiento, las varillas de reparación serán capaces de soportar las cargas originales.

El alivio de la carga durante la operación de la reparación puede permitir que el material de reparación sostenga la parte que le corresponde del esfuerzo



El acero de reparación sostiene la mayor parte de las cargas en las cargas en las zonas de tensión

Figura 3.28. Distribución de esfuerzos a tensión en zona de tensión.

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

3.3.2. Materiales de reparación

Estableciendo criterios para los materiales para reparación de superficies.- La selección de materiales de reparación para reparar superficies es un proceso importante y complejo que involucra entender claramente qué es lo que se requiere de la reparación, las condiciones de servicio y exposición, y la técnica de instalación. Y requiere de la comprensión del comportamiento del material en los estados no curado y curado, en las condiciones anticipadas de servicio y exposición. Después de que se han establecido los requisitos y que se han definido las propiedades de los materiales, puede hacerse la selección de materiales específicos. En algunos casos, más de un material o sistema de materiales satisfarán los requisitos establecidos. La selección final de los materiales se hace con base en la relación entre costo, desempeño y riesgo.

Uno de los más grandes retos que enfrenta el rendimiento exitoso de los materiales de reparación, es su comportamiento dimensional relativo al sustrato. Los cambios dimensionales relativos causan esfuerzos internos dentro del material de reparación y dentro del sustrato. Los altos esfuerzos internos pueden dar como resultado grietas por

tensión, pérdida de capacidad para soportar cargas, delaminación o deterioro. Se requiere de una atención especial para minimizar estos esfuerzos y seleccionar materiales que resuelvan apropiadamente el comportamiento dimensional relativo.

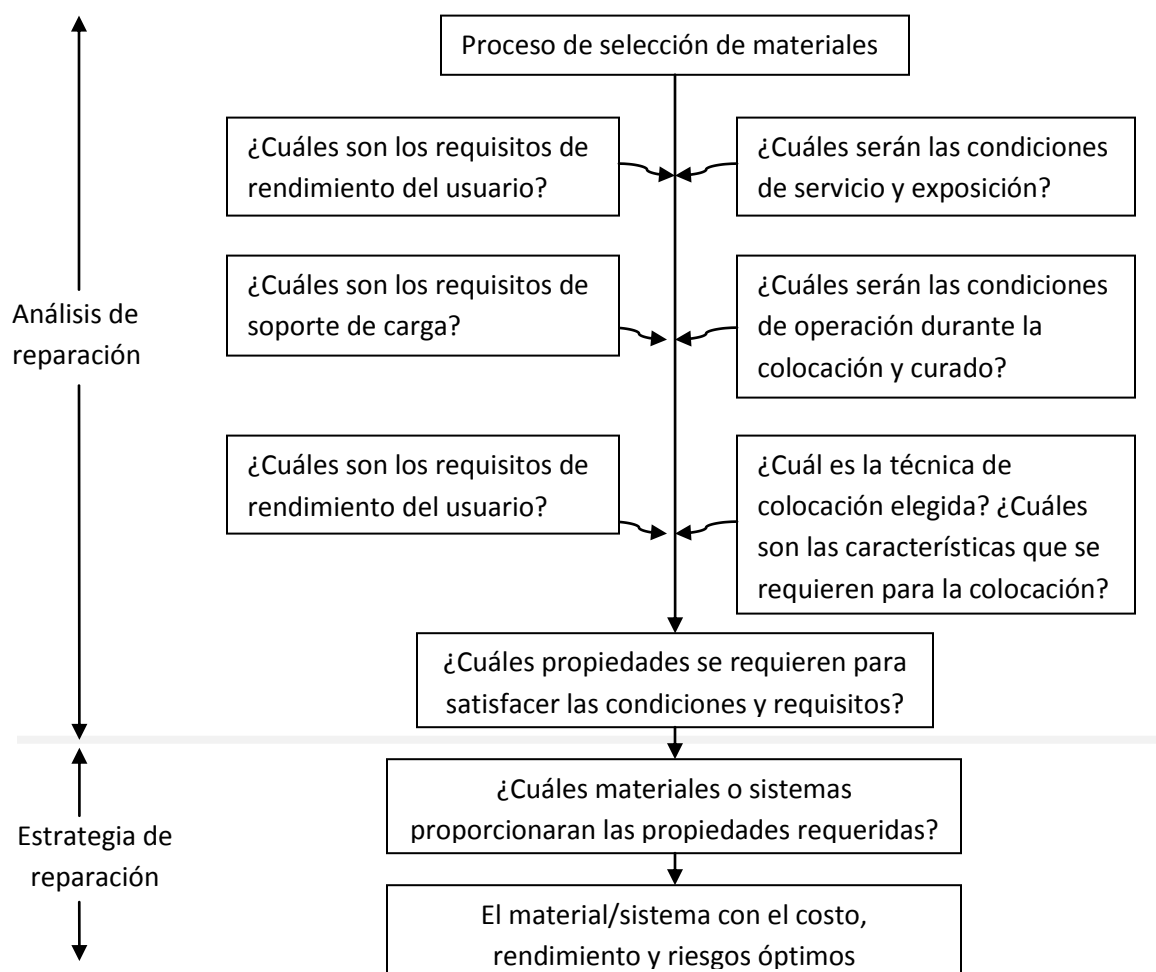


Figura 3.29 Diagrama de flujo del proceso de selección del material

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Estableciendo las propiedades de los materiales.- La selección de materiales que tengan un rendimiento exitoso bajo las condiciones anticipadas de servicio y exposición, requiere de una buena comprensión de cómo las condiciones de servicio y exposición afectan al miembro reparado (material de reparación, adherencia, sustrato). Para cada condición de servicio/exposición, se genera una respuesta (una alteración). La respuesta puede ocurrir a diferentes niveles (localizaciones) dentro del elemento reparado, incluyendo la superficie del material de reparación, el acero de refuerzo, la intercara de adherencia y el sustrato.

Ejemplo 1. Condición: cloruro de calcio y humedad depositados en la superficie. Respuesta: la superficie de reparación está sometida a cloruros. Con el tiempo, el cloruro penetrará al nivel de refuerzo; el resultado será corrosión.

Ejemplo 2. Condición: la carga de una rueda de acero viaja sobre el parteaguas de una junta reparada. Respuesta: la superficie de la reparación está sometida a cargas de impacto (trituración local en la esquina); el material de reparación transfiere la carga a la línea de adherencia en el sustrato. (La adherencia es esforzada; puede ocurrir delaminación).

El entender la respuesta del material de reparación a una condición dada de servicio/exposición ayuda a determinar las propiedades del material requeridas para un programa de reparación exitoso. Las siguientes páginas dan una visión general de las condiciones estructurales (soporte de carga), servicio-exposición, factibilidad de construcción, y apariencia que son típicas de muchas situaciones de reparación.

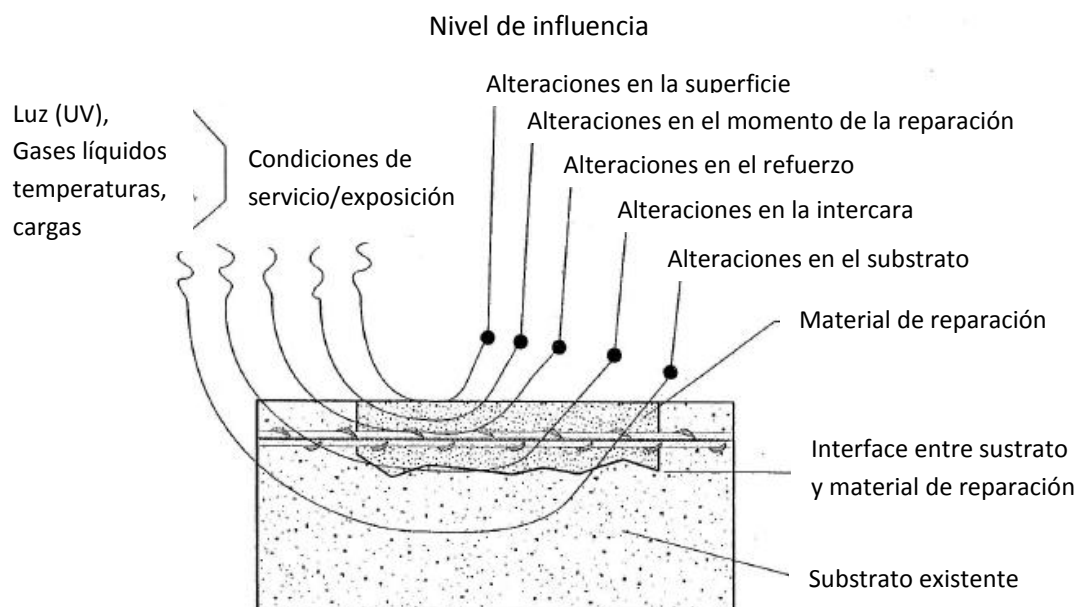
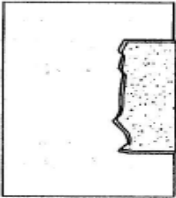
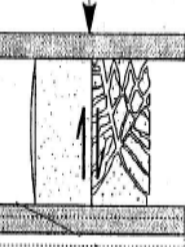
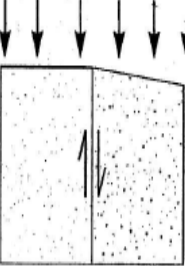
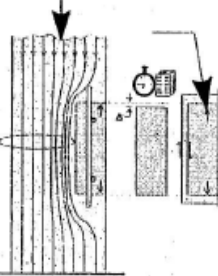


Figura 3.30 Niveles de influencia de las condiciones de servicio/exposición
(Fuente: *Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto*)

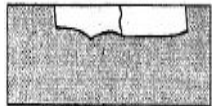
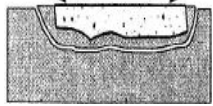
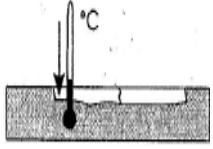
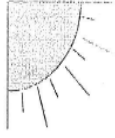
Las siguientes tablas presentan propiedades positivas y negativas que han de considerarse en la selección de un material de reparación exitoso.

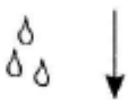
Tabla 3.3 Propiedades de soporte de carga

Objetivo (requisitos de rendimiento)	Resultados si se selecciono el material equivocado (respuesta no deseada)	Busque estas propiedades	¡Evite esto!
Adherencia Al sustrato	 Pérdida de adherencia, delaminación, separación de la reparación del sustrato	Adherencia de tensión; esfuerzo interno bajo	Esfuerzo interno bajo causado por incompatibilidad térmica, contracción por secado
Soporte de carga tal como lo pretende el ingeniero	 No soportar las cargas como se anticipó, sobreesfuerzo ya sea en el sustrato o en el material de reparación	Igual módulo de elasticidad que en el sustrato	Módulo de elasticidad bajo o alto en comparación con el sustrato
	 Soportar las cargas inicialmente, pero con el tiempo, la reparación se afloja debido a la deformación por fluencia	Fluencia por compresión extremadamente baja	Fluencia por compresión alta
	 La contracción por secado hace que el material pierda volumen, reduciendo su capacidad para soportar cargas de compresión	Contracción por secado extremadamente baja	Contracción

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

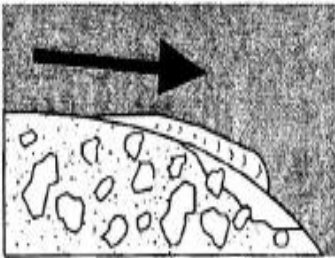
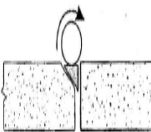
Tabla 3.4 Propiedades de servicio/exposición

Objetivo (requisitos de rendimiento)	Resultados si se selecciono el material equivocado (respuesta no deseada)	Busque estos propiedades	¡Evite esto!
Cambios de temperatura 	 Los esfuerzos por contracción causan agrietamiento en el material de reparación	Coeficiente térmico igual al substrato	Coeficiente térmico desigual al substrato
	 Esfuerzo por compresión en el substrato que causa astillamiento	Coeficiente térmico igual al substrato	Coeficiente térmico desigual al substrato
Cambios de temperatura en el material de reparación durante la colocación	 Esfuerzos de contracción en el material de reparación, que causan agrietamiento	Baja exoterma durante la colocación y el curado.	Alta exoterma durante la colocación y el curado.
Gases atmosféricos	Condiciones de humedad  Corroe el acero de refuerzo. desintegra la matriz del cemento	Baja permeabilidad en la superficie o internamente, no hay grietas	Alta permeabilidad, agrietamiento en el material de reparación
Contacto químico 	Corroe el acero de refuerzo	Baja permeabilidad, no hay grietas en la superficie o internamente	Alta permeabilidad, agrietamiento en el material de reparación
	Desintegra la matriz de cemento	Resistencia química a la sustancia en la superficie o internamente	Falta de resistencia química
Exposición o UV 	Cambio en los propiedades mecánicas del material de reparación, cambios al módulo de elasticidad	Alto resistencia a UV en lo superficie	Baja resistencia a UV
Condiciones de humedad, saturación 	Ciclos de congelación y deshielo Desintegración de la matriz de cemento	Baja permeabilidad en la superficie o internamente	Alta permeabilidad

Condiciones de humedad	 Cambios en la humedad interna Esfuerzos de contracción, que causan agrietamiento	Baja permeabilidad Baja contracción por secado	Alta permeabilidad, alta contracción por secado.
------------------------	---	---	--

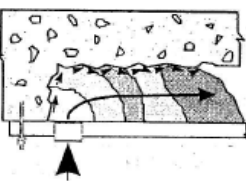
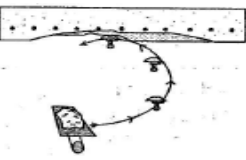
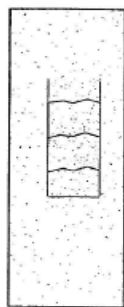
(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Tabla 3.5 Cargas externas/propiedades

Objetivo (requisitos de rendimiento)	Resultados si se selecciono el material equivocado (respuesta no deseada)	Busque estas propiedades	¡Evite esto!
Líquidos en movimiento	Erosión en lo superficie 	Alta densidad	Baja densidad
		Alta resistencia a compresión	Baja resistencia a compresión
		Alta resistencia a tensión	Baja resistencia a tensión
Líquidos en movimiento y sólidos suspendidos	 Erosión y abrasión de los superficies	Alta densidad	Baja densidad
		Alta resistencia a compresión	Baja resistencia a compresión
		Alta resistencia a tensión	Baja resistencia a tensión
Ruedas de vehículos	 Daño por Abrasión a la superficie	Alta densidad, alta resistencia o compresión	Baja densidad. Baja resistencia o compresión
Impacto 	Astillamiento en bordes en las juntas	Alta resistencia a compresión, a tensión y adherencia, anclaje de tensión en el substrato.	Baja resistencia a compresión, a tensión y adherencia,
	Astillamiento	Alto resistencia o tensión, refuerzo interno de tensión	Bolo resistencia o tensión
		Alta resistencia a compresión	Baja resistencia a compresión
		Alto módulo de elasticidad	Bajo módulo de elasticidad
	Perdida de adherencia	Alta resistencia a adherencia, anclaje de tensión en el substrato	Baja resistencia a adherencia

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Tabla 3.6 Propiedades de factibilidad de construcción y apariencia

Objetivo (requisitos de rendimiento)		Busque estos propiedades	¡Evite esto!	
construcción	 Punto de recepción y entrega	Rápida ganancia de resistencia	Lenta ganancia de resistencia	
	 Fluidez	Alto revenimiento	bajo revenimiento	
		Agregado pequeño, fino, forma redonda	Agregado grueso, forma angular falta de finos	
	 Sin pandeo	Alta cohesión interna, fuerte agarre adhesivo	Baja cohesión interna, bajo agarre adhesivo	
Objetivo (requisitos de rendimiento)	Resultados si se selecciono el material equivocado (respuesta no deseada)		Busque estos propiedades	¡Evite esto!
Apariencia 		Agrietamiento de la superficie por contracción por secado	Baja contracción por secado, membrana superficial flexible	Alta contracción por secado
		Agrietamiento de la superficie en etapa plástica	Baja exoterma Baja perdida de agua superficial durante la colocación	Alta exoterma Alta perdida de agua superficial durante la colocación

Selección de materiales.- Seleccionar materiales que satisfagan todas las propiedades establecidas por las condiciones y requisitos es una tarea difícil. Algunas situaciones requieren capacidad para soportar cargas, junto con durabilidad, y otros requieren únicamente de durabilidad. La mayoría de los materiales usados para reparaciones profundas, utilizan aglomerantes de cemento Portland y agregados bien proporcionados. Para estos materiales, se puede agregar durabilidad usando puzolanas (microsílices), polímeros (látex), o aditivos especiales que reducen la permeabilidad. La mayoría de los concretos y morteros modificados no látex, de baja relación agua/cemento, y modificados con microsilice, pueden usarse fácilmente una vez que se tiene experiencia en la manera en que estos materiales se comportan durante la colocación y curado. El uso de materiales de reparación a base de cemento portland (dosificados en sitio, premezclados o en sacos), requiere de atención especial en cuanto a la contracción y el curado.

El curado de los materiales a base de cemento portland es de importancia crítica para reducir la contracción temprana y para el buen comportamiento en un futuro a largo plazo. En aplicaciones estructurales, es importante entender la respuesta del material de reparación a las cargas. Las propiedades importantes para aplicaciones en las que se tienen que compartir carga son el módulo de elasticidad y la fluencia por compresión.

Evitar el uso de materiales que contengan ingredientes desconocidos, el uso de materiales que contengan yeso da como resultado una expansión sin control y una durabilidad extremadamente baja cuando están sometidos a humedad. Debe tenerse extremado cuidado cuando se usen materiales altamente exotérmicos, tales como materiales de magnesio a base de fosfato. El alto calor de hidratación puede causar esfuerzos térmicos por enfriamiento. Algunos materiales son sensibles al método de aplicación. Los modificadores de látex han probado ser excepcionales en capas superpuestas, pero, cuando se usan en algunas aplicaciones que involucran concreto lanzado mixto y seco, han dado como resultado la falla de inter-adherencia. La falla fue causada por la película de látex que se formaba en las superficies no acabadas. El proceso de concreto lanzado utiliza aire a gran velocidad que acelera la formación de una capa de látex que inhibe la adherencia.

Los concretos y morteros a base de polímeros son otra clase de materiales usados para la reparación de superficies de concreto. Los depósitos y los acrílicos combinados con

agregados graduados, producen materiales fuertes y químicamente resistentes. Pueden usarse para aplicaciones delgadas o aplicaciones gruesas en donde las condiciones de servicio/exposición no causen problemas de incompatibilidad dimensional. Los materiales de polímeros tienen altos coeficientes térmicos en comparación con el concreto. Excepto para sistemas de recubrimiento de superficie delgada, no deben usarse en situaciones de exposición solar.

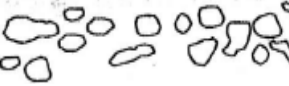
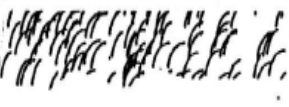
Tabla3.7 Materiales más comunes, junto con sus propiedades y limitaciones

Materiales	Ingredientes		
	aglomerantes	adicionantes	aditivo
Mortero de cemento portland	Cemento portland		Reductor de agua inclusor de aire
Concreto de cemento portland	Cemento portland		Reductor de agua inclusor de aire
Concreto de cemento portland modificado con microsilica	Cemento portland	microsilica	HR WR Inclusor de Aire
Concreto de cemento portland modificado con látex	Cemento portland		Látex SBR
Concreto de cemento portland modificado con polímero de relleno sin pandeo	Cemento portland	Rellenadores sin pandeo	Látex acrílico
Concreto de cemento con fosfato de magnesio	Concreto con fosfato de magnesio		
Concreto con agregado precolado	Cemento portland	Puzolanas	Fluidificantes
Mortero epóxico	Resina epóxica		
Concreto de metilmetacrilado (MMA)	Resina acrílica		
Concreto lanzado	Cemento portland	Puzolanas	Reductor de agua acelerante látex

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Tabla 3.8 Ingredientes de los materiales para reparación

Ingredientes	Descripción	beneficio
Aglomerante	El aglomerante es un pegamento que une todos los Rellenadores y agregados juntos para formar un	Los cementos Portland se usan para la mayoría de los trabajos de reparación en general. Los

	material compuesto. Los materiales aglomerantes incluyen: cemento Portland otros cementos hidráulicos, acrílicos epóxicos.	materiales poliméricos tales como epóxicos y acrílicos se usan para aplicaciones especiales que requieren resistencia química, o aplicaciones muy delgadas.
Agregado fino 	Los agregados se usan para reducir el volumen del aglomerante y resaltar las propiedades mecánicas. Los agregados finos pueden usarse sin la adición de agregados gruesos.	Los agregados finos adecuadamente graduados reducen el contenido y la contracción del aglomerante. Pueden usarse agregados especiales para mejorar la resistencia a abrasión. La forma de los agregados afecta el grado en que el material puede ser compactado y acabado cuando se usa llanas.
Agregado grueso 	Los agregados gruesos reducen más eficientemente el volumen total del aglomerante que los agregados finos, y realzan las propiedades mecánicas generales.	Los agregados gruesos reducen la contracción por secado. Los agregados especiales se usan para aumentar la resistencia a abrasión.
Rellenadores especiales 	Los Rellenadores especiales llenan los espacios dejados por los agregados finos y gruesos. Algunos Rellenadores (ceniza volante, microsilice) reemplazan algunos de los cementos requeridos. Los Rellenadores también se usan para mejorar la cohesión interna.	El microsilice incrementa la resistencia y reduce la permeabilidad.
Modificadores de polímeros 	Los modificadores de polímeros se usan para resaltar las propiedades del material de reparación. El látex (SBR) es el más común. Otros modificadores incluyen acrílico PVA y emulsiones epóxicas.	Algunos polímeros realzan las propiedades del material de reparación. El látex se usa para reducir la permeabilidad e incrementar la resistencia de adherencia con el sustrato, y reduce el módulo de elasticidad.
Refuerzo de fibras 	El refuerzo plástico o de fibras de acero se usa para agregar resistencia a tensión y tenacidad al material de reparación.	El refuerzo de fibras proporciona control del agrietamiento por contracción. Las fibras de acero y en algunos casos las fibras de plástico, realzan la tenacidad y resistencia al impacto y la abrasión.
Modificadores químicos diversos 	Se usan diversos modificadores para realzar y modificar el comportamiento de material de reparación. Ellos incluyen acelerantes, retardantes, adiciones, compensadores de contracción, reductores de agua, agentes fluidificadores, agentes de expansión y aditivos inclusores de aire.	El uso de modificadores permite el control de algunas de las propiedades de los materiales curados y sin curar.
Material de reparación 	El material de reparación es una combinación aglomerantes, agregados, rellenos y Realzadores que optimizan la efectividad, factibilidad de construcción, durabilidad y posible	El diseño del material debe mantenerse en su forma simple. No utilice más ingredientes de los que sean necesarios. Los materiales complejos generalmente causan más problemas.

	comportamiento.	
--	-----------------	--

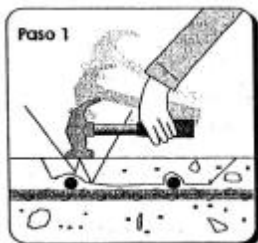
(Fuente: *Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto*)

3.3.3. Preparación de la superficie.- La reparación de superficies involucra el proceso de acondicionar el concreto existente para recibir los materiales de reparación. Se requiere del acondicionamiento removiendo el concreto deteriorado, contaminado o dañado para proporcionar superficies que promuevan la adherencia de los materiales de reparación. El proceso de preparación de la superficie es una de las fases más críticas del trabajo en el sitio. Si no se comprende bien y no se tiene el cuidado adecuado, los requisitos necesarios con mucha probabilidad no serán satisfechos. Se disponen de muchas técnicas para llevar a cabo varios aspectos de la remoción y limpieza del concreto. Cada método tiene ventajas específicas y limitaciones. La mayor parte del trabajo de remoción todavía se hace por medio de pequeños cinceladores manuales debido a su movilidad y a su versatilidad. Sin embargo, continuamente se están desarrollando nuevas tecnologías. La hidrodemolición y el hidrofresado son dos de los métodos más recientes.

La calidad de la preparación de la superficie puede tratarse mejor en combinación con el material de reparación en el lugar de la obra. La evaluación del sistema completo (substrato/ intercara/ material de reparación) puede lograrse por medio de pruebas de jalón por tensión directa (uniaxial). El desempeño puede evaluarse cualitativamente con base en la localización de la superficie que se rompe, y cuantitativamente midiendo el esfuerzo de tensión en la falla.

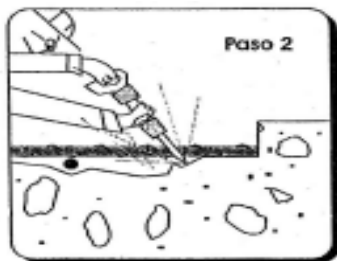
La Preparación de la superficie, examina temas tales como remociones generales, acondicionamiento de orillas, corte inferior de varillas, y acondicionamiento de superficies. Se pone énfasis en superficies en los que hay refuerzo corroído.

Procedimiento general de la preparación de la superficie



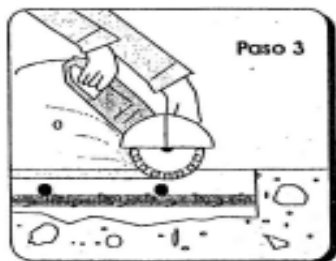
Paso 1

Localice el área que ha de ser reparada (Evalue el concreto). Se usa el sondeo con martillo y el arrastre de cadena para localizar delaminación. Diseñe e instale un sistema de soporte temporal previamente a cualquier retiro del concreto.



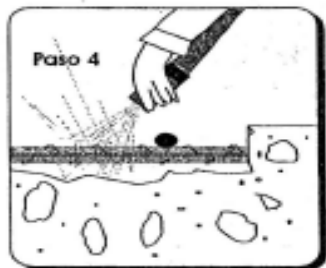
Paso 2

Retire el concreto deteriorado usando métodos aceptables. Cuando se encuentre acero ahogado, siga las recomendaciones en las siguientes páginas. Es de suma importancia el corte superior de las varillas expuestas para obtener éxito a largo plazo de las reparaciones de superficie. Las varillas que sean dañadas por la operación de remoción, o que tengan una pérdida significativa de sección, pueden requerir reparación.



Paso 3

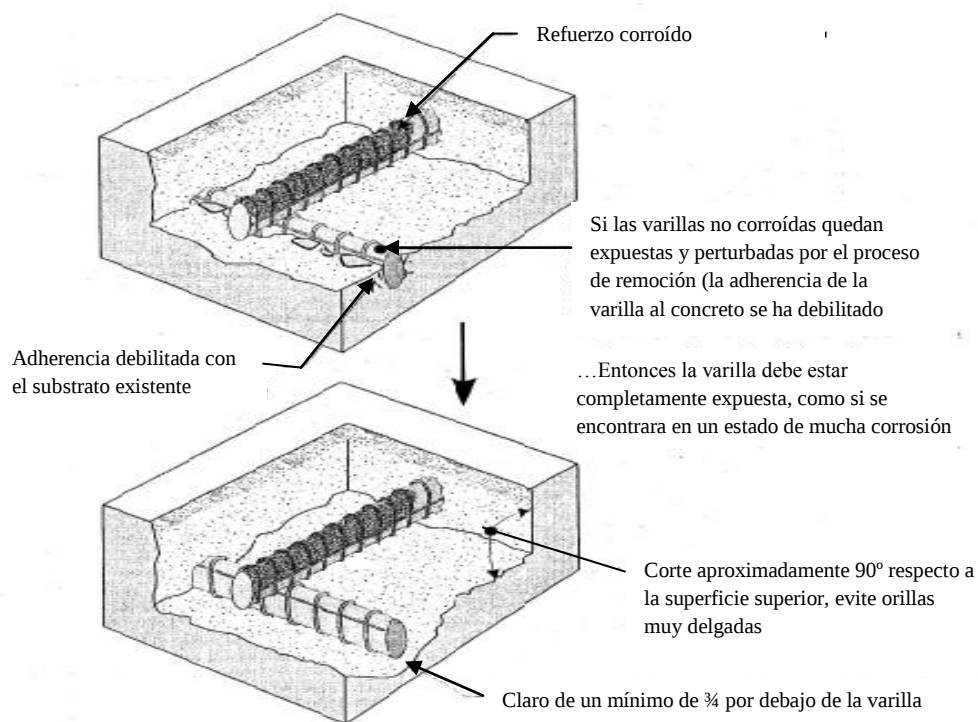
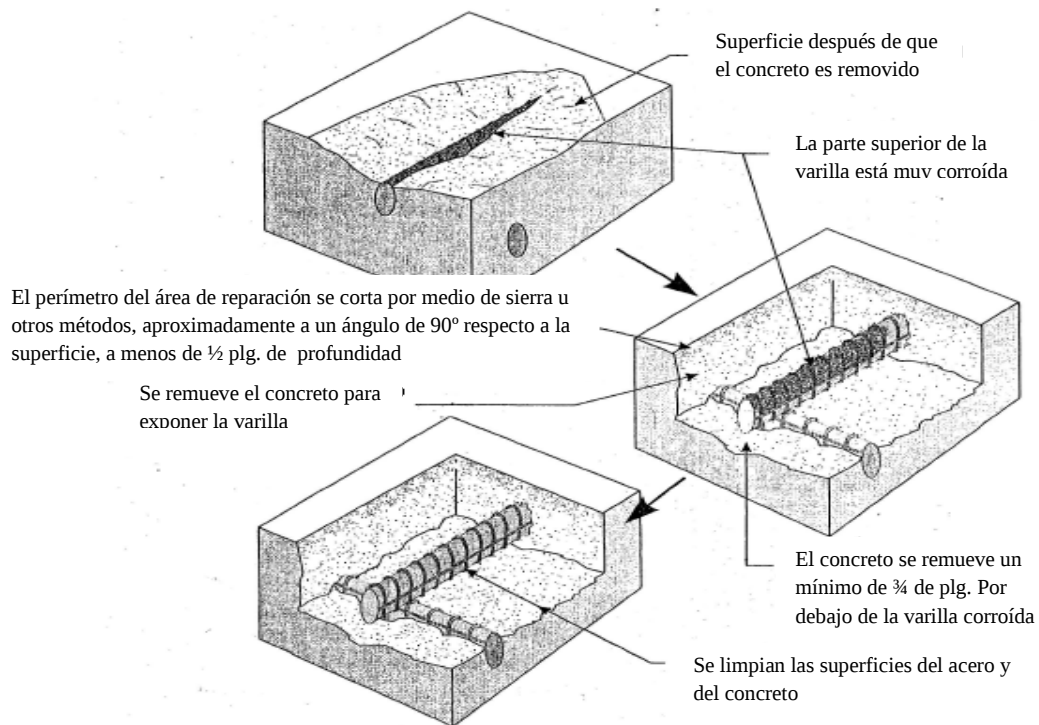
Prepare los límites de la superficie a reparar para evitar condiciones de orillas muy delgadas. La geometría de los límites debe minimizar la longitud de las orillas. El concreto lanzado puede requerir algunas modificaciones para orillas en escuadra. (ACI 506R-90).

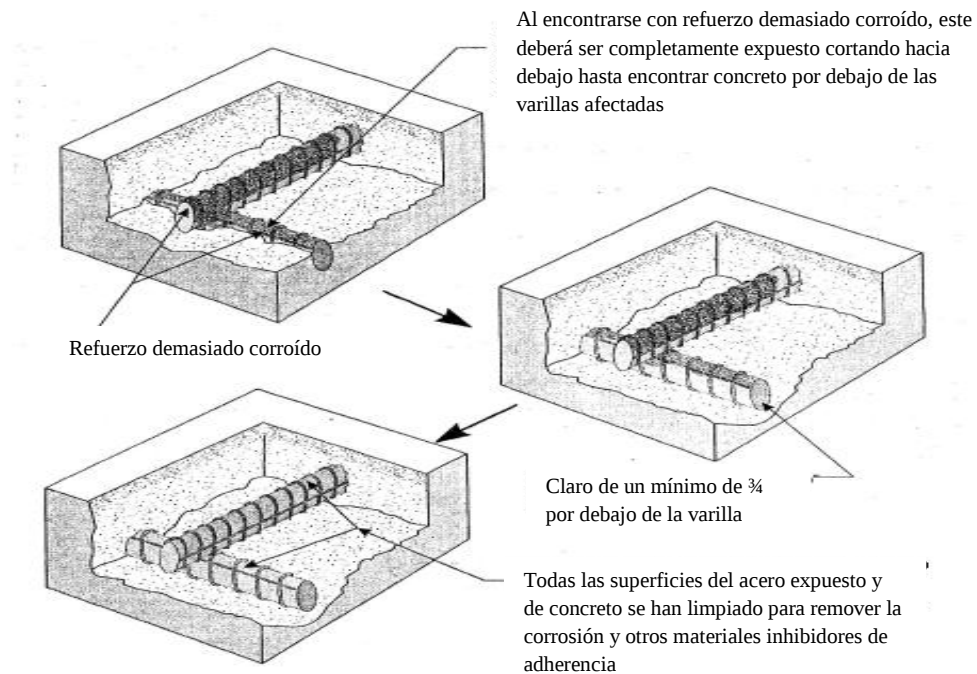


Paso 4

Limpie la superficie del acero de refuerzo y del concreto expuesto. La limpieza de la superficie, es de suma importancia para lograr una adherencia adecuada entre la reparación y el concreto existente.

Preparación de la superficie cuando se encuentra acero de refuerzo corroído





Disposición recomendada de las reparaciones de superficie.- El deterioro de las superficies de concreto generalmente no es uniforme. Las áreas que requieran reparación deben ser modificadas para que proporcionen una disposición simple.

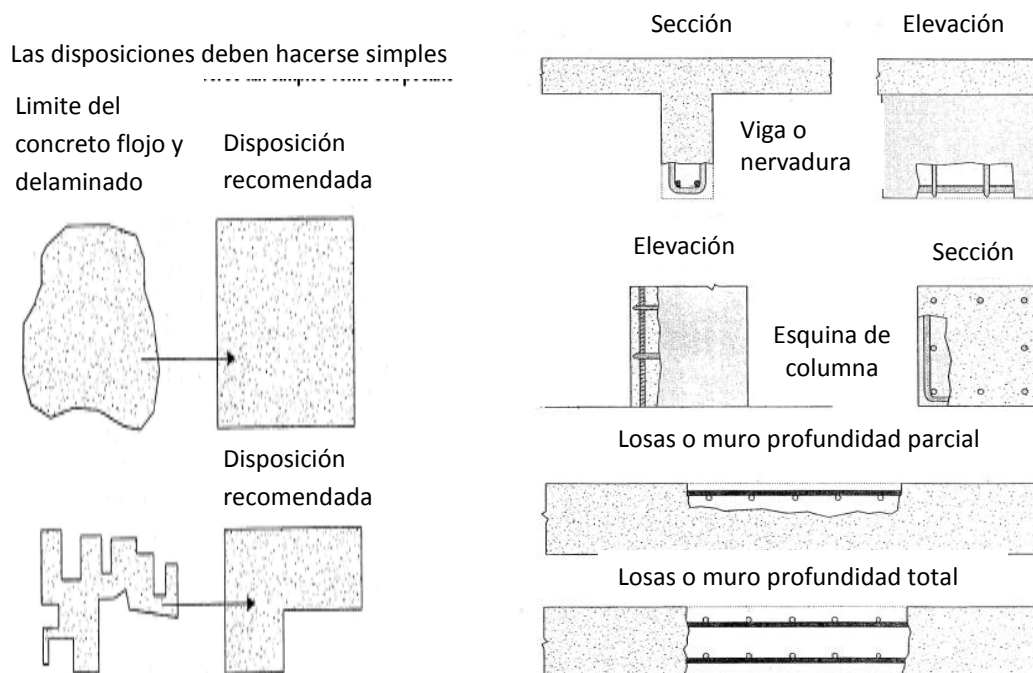


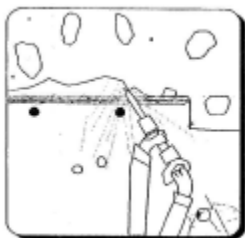
Figura 3.31 Geometría de remoción recomendada

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Los croquis deben ser diseñados de modo que reduzcan la longitud de los bordes de los límites. Las condiciones de orilla excesiva o compleja dan como resultado concentraciones de esfuerzo por contracción y agrietamiento. Si se usa el aserrado como un método para reparar las condiciones de orillas, tenga en cuenta que las sierras cortan en línea recta y que, donde haya vueltas, se pueden requerir cortes excesivos con la sierra.

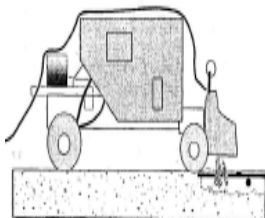
Método de remoción del concreto: profundidad parcial

Martillo cincelador neumático



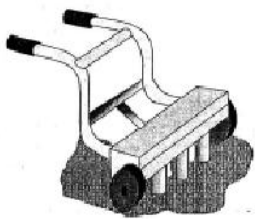
Los martillos cinceladores de clase #15 al #30 son las herramientas de remoción más comunes para la reparación de superficies. El martillo # 15 es lo suficientemente ligero para usarse en superficies verticales y a una altura por encima de la cabeza. Se usan puntos de cincelado para reparar secciones generales. Los martillos más grandes que #30 pueden dañar el acero de refuerzo que se encuentre, y deben evitarse para remociones de profundidad parcial. También se dispone de cinceladores eléctricos e hidráulicos.

Hidro-remoción



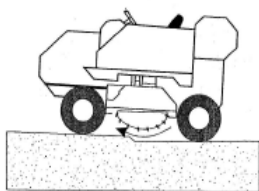
El agua a alta presión (20,000 a 40,000 psi) (138 a 276 MPa) proyectada sobre superficies de concreto afectadas remueve eficazmente el concreto. El equipo es controlado a distancia y montado en un vehículo que se mueve. Algunos equipos de robótica pueden remover el concreto no solamente en superficies horizontales, sino también en verticales y en superficies por encima de la cabeza. Las remociones con agua no dañan el acero de refuerzo. El corte por debajo del acero de refuerzo también puede realizarse usando este método. La limpieza de lechada y agua requiere de un esfuerzo extra.

Desbastador neumático



Los desbastadores neumáticos utilizan herramientas de cepillado alternativo que golpean la superficie de concreto. Después de cada golpe, se remueven pequeñas cantidades de concreto. Los desbastadores neumáticos son herramientas efectivas para remover hasta 1/4" (6.4 mm) de superficie para la preparación de capas superpuestas.

Cuando se usen desbastadores neumáticos, debe tenerse mucha precaución para evitar abollar la superficie de concreto.



Máquina de fresado rotatorio

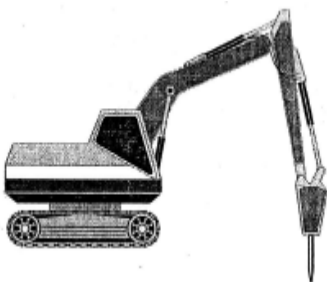
Las máquinas fresadoras se encuentran disponibles en todos los tamaños para situaciones variantes de campo. La mayoría utilizan puntas de carburo montadas en un tambor rotatorio. El tambor gira haciendo que, el carburo desbaste y empareje la superficie de concreto. El fresado generalmente se usa para remover superficies de concreto en preparación para una capa superpuesta. El fresado solamente puede usarse para la remoción de concreto hasta la superficie superior del acero de refuerzo.

Método de remoción de concreto: a profundidad total



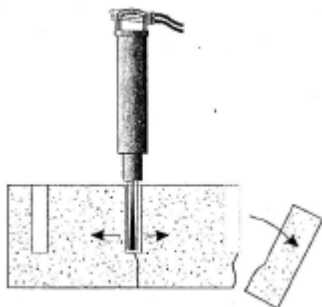
Rompedores neumáticos manuales

Los rompedores manuales de clase #30 a #90 son herramientas efectivas para la remoción de concreto. Debe tenerse cuidado en no dañar el acero de refuerzo que pueda encontrarse



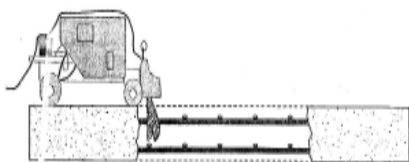
Rompedores neumáticos/hidráulicos montados

Los rompedores montados son efectivas herramientas de remoción para altos volúmenes. Generalmente se encuentran en retroexcavadoras, cargadoras montadas en largueros, y robots operados a control remoto. Cuando se usen rompedoras, debe tenerse mucha precaución para evitar romper la superficie de concreto sano.



Fracturadores

Son herramientas usadas para fracturar el concreto en pedazos que sean fácilmente removibles. Las partidoras Se encuentran disponibles en tres tipos: cuñas hidráulicas, presión de fluido, cementos expansivos. Los más comunes son las cuñas hidráulicas y los cementos expansivos. Para los tres tipos se taladran hoyos. Las cuñas hidráulicas utilizan cuñas de acero insertadas en el ancho de agujero taladrado por medio de un ariete hidráulico. El cemento expansivo es mezclado con agua y vertido o pisoneado en el agujero taladrado. A las 24 horas el cemento se expande ejerciendo fuerzas los suficientemente grandes para fracturar el concreto.



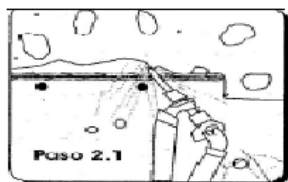
Hidrodemolición

El equipo de hidrodemolición utiliza agua a alta presión (20,000 a 40,000 psi (138 a 276 MPa)) proyectada en la superficie de concreto. Pueden hacerse remociones efectivas a toda profundidad con este equipo cuando se trata de losas delgadas.

3.3.4. Limpieza, reparación y protección del acero de refuerzo.- El acero de refuerzo corroído o dañado de algún modo, usualmente se encuentra en conjunción con concreto deteriorado. Las gruesas capas de herrumbre que se acumulan en el acero de refuerzo durante el proceso de corrosión son la causa de la delaminación y astillamiento del concreto. La remoción de la acumulación de óxido es de importancia crítica para el éxito a largo plazo de las reparaciones de superficie. Muchas reparaciones han fallado a los pocos años de haberse terminado debido a una limpieza insuficiente. La limpieza apropiada de las varillas corroídas requiere la remoción del concreto alrededor de toda la circunferencia de la varilla. Al remover toda la circunferencia, puede removerse el concreto contaminado. Los cloruros y el concreto carbonatado pueden estar presentes alrededor de la varilla de refuerzo, aun cuando no se tenga presencia de corrosión. Dos otras razones para remover el concreto alrededor de la varilla son (1) permitir que el material de reparación encapsule la varilla, proporcionando un ambiente electroquímico relativamente uniforme, y (2) anclar la reparación al sustrato.

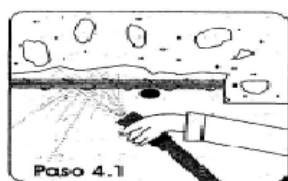
Siempre que las varillas se corroen, también pierden una sección valiosa, reduciendo con ello la capacidad última para soportar cargas. En algunos casos, las varillas pierden toda la sección a través del proceso de corrosión. Se requiere de evaluación estructural para entender los efectos de la pérdida de sección y saber si se requieren reparaciones para restaurarla. Aparentemente el sentido común aconseja colocar capas protectoras o usar otros medios para prevenir la recurrencia de corrosión. Sin embargo, un concreto de calidad, generalmente es todo lo que se necesita para proteger el acero de refuerzo ahogado. Aunque la práctica actual de proteger varillas expuestas es discutible, se encuentran disponibles muchos sistemas. En esta sección se discuten varios sistemas protectores.

Procedimiento general



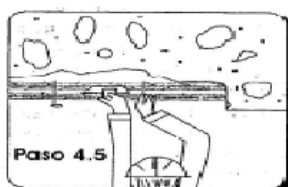
Paso 2.1

El acero de refuerzo corroído, encontrado en el proceso de reparación, exige que el concreto sea removido alrededor de la circunferencia total de la varilla. Esto permite que se limpie el acero de refuerzo y que se coloque un material uniforme alrededor de él.



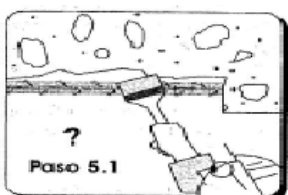
Paso 4.1

Los óxidos excesivos y otros materiales inhibidores de adherencia deben ser removidos por un método de limpieza aceptable. (Véase "Limpieza del acero de refuerzo").



Paso 4.5

Las varillas dañadas durante las operaciones de remoción o con una pérdida crítica de sección pueden requerir su reparación o su reemplazo. (Véase "Reparación del acero de refuerzo").



Paso 5.1

En ciertas ocasiones pueden aplicarse recubrimientos especiales para agregar protección adicional al acero de refuerzo. (Véase "protección del acero de refuerzo").

Reparación del acero de refuerzo (por pérdida de sección)

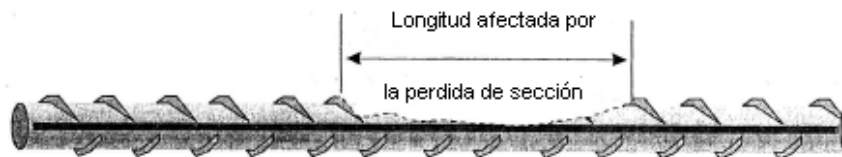


Figura 3.32 pérdida de sección del acero de refuerzo a efecto de la corrosión

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Si el acero de refuerzo ha perdido más de 25% de su sección transversal (o 20% si dos o más varillas adyacentes son afectados), entonces generalmente se requiere la reparación del acero de refuerzo.

Si se requieren reparaciones para el acero de refuerzo, deben usarse uno de los siguientes métodos:

- Varilla complementaria sobre la longitud afectada. Puede empalmarse mecánicamente una varilla nueva a una varilla afectada o colocarse paralelamente a una varilla existente.
- Reemplazo completo de la varilla.

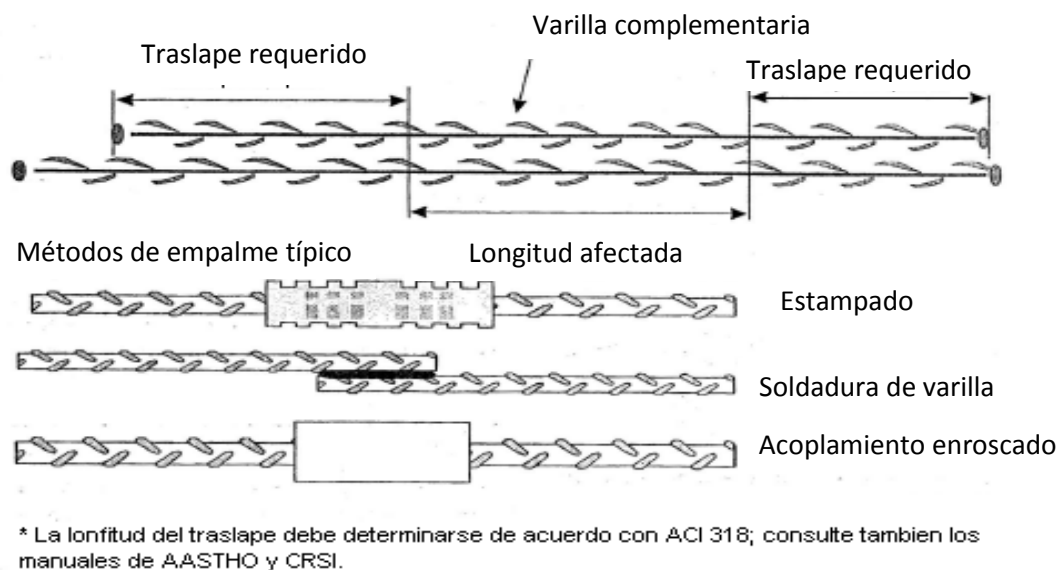


Figura 3.33 Traslape y empalmes en reparaciones del acero en el acero de refuerzo corroído. (Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

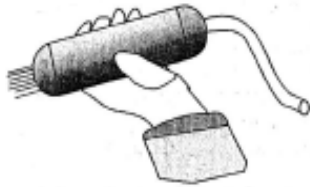
Limpieza del acero de refuerzo

Procedimientos generales

Debe de removerse toda la herrumbre y las escamas de la varilla de refuerzo para promover la máxima adherencia con los materiales de reparación. Puede acumularse un ligero óxido muy adherido después de la limpieza. Esto usualmente no representa ningún detrimento a la adherencia. Si se está aplicando una capa protectora a la varilla de refuerzo, deben seguirse las indicaciones del fabricante para la preparación de la superficie.



Descamadores de aguja



Descamadores de aguja

Los descamadores de aguja son herramientas neumáticas que utilizan un grupo de varillas de acero de tamaño pequeño que son movidas por un pistón interno. Las pequeñas varillas de acero golpean la superficie que se pretende limpiar, causando la remoción de los materiales de la superficie. Los descamadores de agujas son herramientas efectivas para remover capas gruesas de óxido, así como también para la limpieza de pequeñas áreas de concreto.

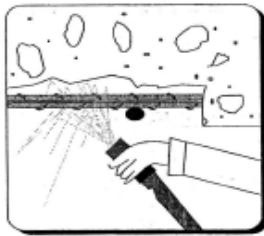
Limpieza con agua a alta presión



Limpieza con agua a alta presión

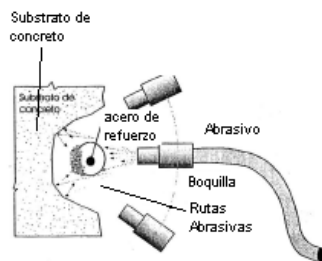
El agua a alta presión (3,000 a 10,000 psi) (20.7 a 69 MPa) limpia la superficie del concreto y el acero, removiendo los materiales no sanos. El agua mezclada con arena limpia más rápido y da como resultado una superficie áspera que promoverá una mejor adherencia con los revestimientos o con los materiales de reparación.

Limpieza con sopleteado abrasivo



Limpieza con sopleteado abrasivo

Los abrasivos mezclados con aire presurizado y proyectado a través de una boquilla son el mejor método para obtener superficies de acero o de concreto con una superficie limpia perfilada. Los desechos (polvo) transportados por el aire generan un problema ambiental cuando se usa este método. Puede inyectarse agua a la boquilla para reducir el polvo en este proceso.



Cepillado eléctrico con alambre

Un cepillo de alambre eléctrico es una herramienta efectiva para remover el óxido no deseado de las superficies de acero. El cepillado con alambre es una operación muy lenta e inefectiva cuando tiene que limpiarse varilla de refuerzo en el lado trasero.

Protección del acero de refuerzo.- El acero de refuerzo está naturalmente protegido contra la corrosión cuando está rodeado del ambiente alcalino de concreto de buena calidad recién colado. En ciertas situaciones de reparación, es prudente procurar atención adicional para el refuerzo empotrado. Los sistemas de protección se clasifican en cuatro (4) categorías.

1. Encapsulación: Aislar la varilla contra corrientes eléctricas en el concreto perimetral puede lograrse encapsulando la varilla con epóxicos. Cuando se usan varillas nuevas, el epóxico adherido por fusión proporciona la mejor protección. Las varillas son calentadas y sopleteadas con perdigones, y después se rocía el epóxico pulverizado sobre ellas bajo un ambiente controlado. En aplicaciones de campo en donde es necesaria la encapsulación de las varillas existentes, se rocía resina epóxica o, más comúnmente, se aplica con brocha en las varillas. Con la aplicación de epóxicos en el campo, es difícil lograr una cobertura del 100% de las varillas expuestas.

2. Protección catódica/ánodo de sacrificio: La protección de las varillas contra la corrosión puede lograrse recubriéndolas con un metal de sacrificio. El zinc es el metal comúnmente usado para este propósito. El zinc se aplica a la varilla con una brocha. Recientemente se ha usado zinc derretido (California DOT) como un recubrimiento de sacrificio aplicado en la superficie. Este método se usa después de que todas las superficies han sido reparadas. El zinc aplicado a la superficie está eléctricamente conectado a la jaula de acero de refuerzo. Puesto que este método es de sacrificio, la vida de servicio depende del grado de exposición a un ambiente corrosivo y a la actividad anódica. Este método de protección se usa únicamente en una base experimental.

3. Protección catódica/corriente impresa: La protección de las varillas contra corrosión puede lograrse revirtiendo el flujo de corriente eléctrica que causa el proceso de corrosión. Se instalan ánodos en, o cerca de la superficie de concreto, y se conectan eléctricamente a las varillas de refuerzo. Se bombea una corriente eléctrica en el circuito, protegiendo las varillas. La corriente aplicada debe ser balanceada con el ambiente en una base continua, a fin de proveer protección. Se requiere de monitoreo constante y de los ajustes necesarios.

4. Recubrimiento de lechada alcalina: Al igual que con el concreto no carbonatado, el recubrimiento de una lechada alcalina protege el acero de refuerzo contra la corrosión. Algunos sistemas utilizan epóxicos no pasivantes como un aglomerante para los rellenos de pasivación (los alcalinos). Existen algunas preguntas relativas a saber si el epóxico aísla los rellenos alcalinos contra el contacto directo con las varillas de refuerzo, o si el epóxico proporciona otros beneficios distintos al de aislar eléctricamente la varilla.



Figura 3.34 Protección del acero de refuerzo

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

3.3.5. Adherencia entre los materiales de reparación al concreto existente.- Lograr la adherencia adecuada entre los materiales de reparación y el concreto existente es un requisito crítico para reparaciones durables de superficie. Se dispone de varias técnicas para lograr la adherencia requerida. Esta sección presenta una breve revisión de algunos de los métodos de prueba para determinar la adherencia de los materiales de reparación o de capas superpuestas al concreto existente, y una descripción paso a paso del proceso para lograr una adherencia adecuada.

La adherencia en la intercara entre el material de reparación y el sustrato de concreto muy probablemente estará sujeta a un esfuerzo considerable derivado de cambios de volumen, congelación y deshielo, fuerza de gravedad y a veces impacto y vibración. Los estados de

esfuerzos que se desarrollan en las líneas de adherencia variarán considerablemente, dependiendo del tipo y el uso de la estructura. Es esencial que el material de reparación logre una fuerte adherencia al sustrato y que los esfuerzos subsecuentes no sean lo suficientemente grandes como para causar la pérdida de adherencia. Las reparaciones que tienen líneas de adherencia en tensión directa son las que más dependen de la adherencia.

Las reparaciones que están sometidas a esfuerzos constantes en la línea de adherencia son capaces de resistir el esfuerzo no únicamente por los mecanismos de adherencia, sino también por los mecanismos de trabazón del agregado, que agregan enormemente la capacidad de adherencia al cortante. Debe recordarse que una alta resistencia inicial de adherencia en general no es tan importante como la durabilidad de la adherencia.

Claves para desarrollar la adherencia

1. Substrato, limpio y sano.
2. Perfil áspero del sustrato para él, agarre mecánico.
3. Estructura con poros abiertos en el sustrato.
4. Material de reparación/ agente de adherencia con suficiente pasta para la absorción en los poros del sustrato.
5. El material de reparación se aplica con presión suficiente para facilitar el contacto entre el material de reparación y el sustrato en la línea de adherencia.

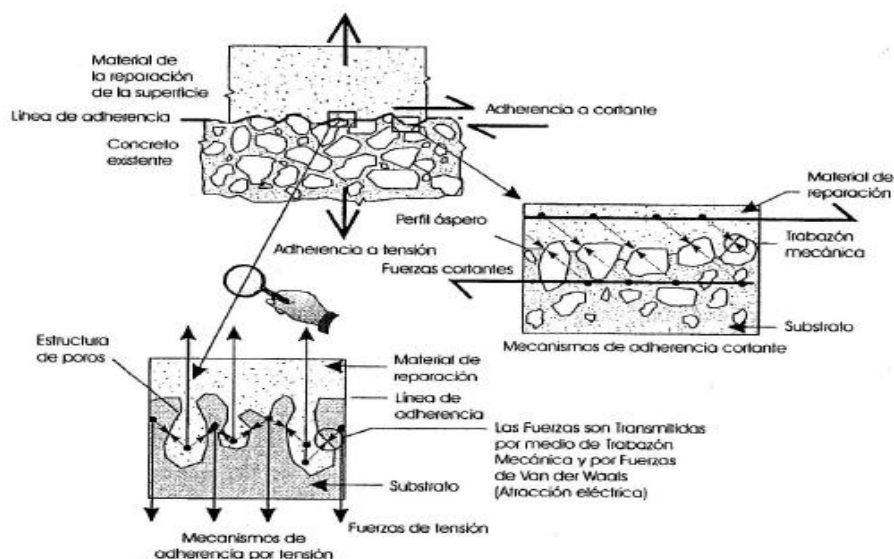


Figura.3.35 Adherencia de los materiales de reparación al concreto existente
(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

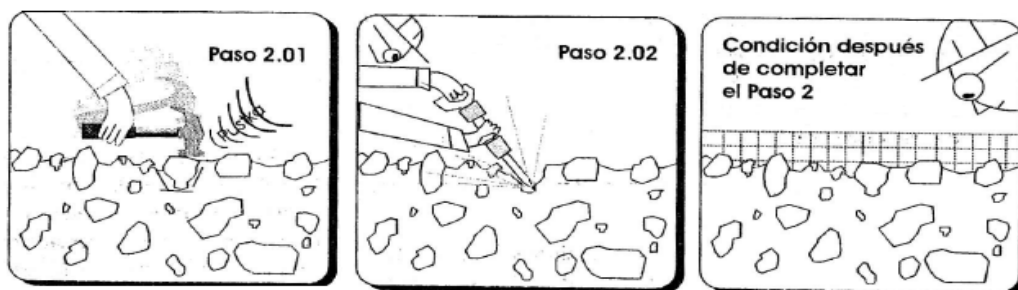
Procedimiento general para una correcta adherencia de materiales de reparación al concreto existente

Paso 2 General.- Las superficies de concreto existentes necesitan adquirir aspereza hasta un perfil necesario para. Lograr trabazón o agarre mecánico. El perfil necesario (la distancia entre los puntos altos y los puntos bajos en una distancia especificada entre dos puntos) es una función de la magnitud de las fuerzas de cortante que estarán actuando, las propiedades del material de reparación, las propiedades del concreto existente, la técnica de colocación o cualquier combinación de todo esto. Se requiere de pruebas de campo para establecer el perfil óptimo.

Herramientas típicas usadas para el desarrollo del perfil

Herramientas	perfil
Cincelador manual	1/2" (13mm)+
Fresado hidráulico	1/2" (13mm)+
Fresado rotatorio	1/8" -1/4" (3 – 6 mm)
Desbastadores	1/8" (3 mm) -
Sopleteadores	1/8" (3 mm) -
Sopleteado abrasivo	1/8" (3 mm) -

Una práctica estándar para preparar los tableros de puente de concreto existentes para capas superpuestas es el fresado rotatorio seguido de limpieza con sopleteado abrasivo. Se logran resultados excelentes con perfiles menores que 1/4".



Paso 2.0.- Las superficies de concreto existentes que se preparan para recibir el material de reparación deben ser sanas, limpias, y libres de materiales, que inhiban la adherencia (aceite, grasas, epóxicos endurecidos. etc.). Una superficie sana ideal es aquella que tiene

adecuada resistencia a compresión, que está libre de defectos, con agregado adherido a la matriz de cemento.

Paso 2.01.- Después de las remociones iniciales, las superficies deben ser sondeadas para localizar delaminaciones y huecos.

Paso 2.02.- Las áreas de concreto que se descubre que no son sanas, deben ser nuevamente preparadas con amartillado o escarificado.



Paso.4 general.- Las superficies del concreto existente deben tener una estructura de poros abiertos. La absorción del material de reparación en la estructura de poros del sustrato es un mecanismo de adherencia muy importante. Si la estructura de poros está congestionada con polvo, lechada o agua, el proceso de absorción será trastornado, y las resistencias de adherencia reducidas.

Paso 4.- Los resultados deseables al abrir la estructura de poros puede lograrse usando uno de los siguientes métodos;

- Sopleteado con perdigones (superficies horizontales)
- Sopleteado abrasivo
- Sopleteado hidráulico
- Combinaciones de abrasivo y agua
- Vacío

La estructura de poros abiertos proporcionará succión capilar del material de reparación, o de los agentes de adherencia, en el concreto del sustrato. Antes de la aplicación de los materiales de reparación, se deben inspeccionar las superficies para eliminar los materiales extraños que pudieran inhibir la adherencia.

Paso 5.- El nivel de humedad del sustrato puede ser crítico para lograr la adherencia. Un sustrato excesivamente seco puede absorber demasiada agua del material de reparación, esto dará como resultado contracción excesiva. La humedad excesiva en el sustrato puede

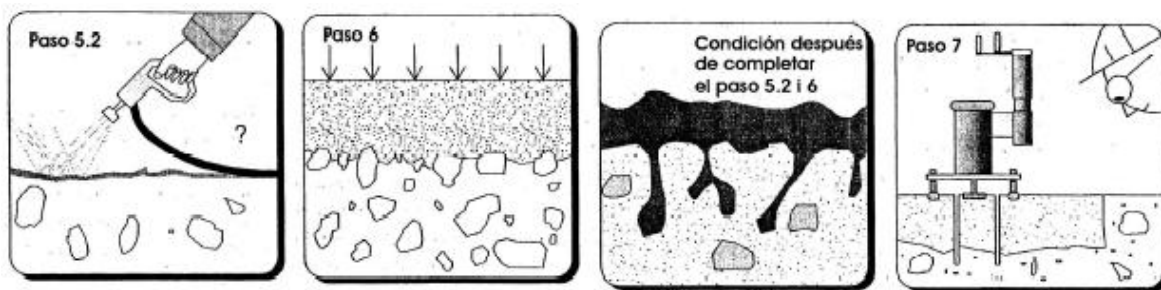
congestionar los poros y evitar la absorción del material de reparación. Las pruebas en el sitio para evaluar la condición de humedad óptima para un sustrato y material de reparación particulares, pueden ser apropiadas. La condición saturada y seca en la superficie puede ser considerada como la mejor solución, a menos que se determine otra cosa.

Paso 5.2.- El material de reparación debe contener una cantidad suficiente de pasta fluida para su absorción por la estructura de poros abiertos en el sustrato. En algunos casos, se usa un agente de adherencia preparado. El agente de adherencia debe ser fácilmente absorbido en la estructura de poros y debe ser compatible con el material de reparación y el sustrato.

Paso 6.- El material de reparación para la superficie debe ser instalado de tal manera que produzca un contacto íntimo entre lo nuevo y lo viejo en la línea de adherencia. El contacto íntimo es producido por un cierto número de mecanismos, incluyendo:

- Vibración interna (produce un flujo fluido, presión hidráulica y disipa las bolsas de aire).
- Presión hidráulica interna (creada por presión de bomba en los espacios: confinados, utilizando técnicas de reparación con agregado precolocado y de lechada con bomba en el molde).
- Impacto a alta velocidad (creado por el empuje del material de reparación en la superficie preparada utilizando mortero lanzado neumáticamente).
- Impacto de baja velocidad (creado por la compactación del material de reparación por medio de varillado y apisonado utilizando técnicas de empaque seco o de aplicación manual).

Paso 7.- Después de asegurarse que se hayan tomado todos los pasos necesarios para lograr la adherencia adecuada, se puede llevar a cabo una prueba de jalón para monitorear la resistencia de adherencia de tensión entre la reparación y el sustrato. Esta prueba en el sitio involucra el uso de obtención parcial de corazones en todo el material de reparación y hasta el sustrato. El método es más cualitativo que cuantitativo. Idealmente, la resistencia de adherencia debe ser tal que la estructura compuesta deba comportarse monolíticamente bajo la carga; la falla debe ocurrir en sustrato de concreto original.



Agentes de adherencia.- La adherencia adecuada se puede lograr colocando el material de reparación directamente contra el sustrato apropiadamente preparado. Hay condiciones especiales cuando se usan agentes de adherencia. Frecuentemente se usan tres tipos principales de agentes de adherencia: lechadas a base de cemento, epóxicos, y emulsiones de látex.

Para reparaciones de capas superpuestas a base de cemento Portland, se usa lechada de cemento o de cemento y arena. Después de que ha sido preparado el sustrato, e inmediatamente antes de colocar el material de reparación, se debe aplicar vigorosamente y completamente con escoba o cepillo una delgada capa de lechada "pastosa" sobre la superficie preparada. En el caso del material de reparación o capas superpuestas modificadas con látex o con microsilice, la lechada adherente puede ser aplicada con escoba desde la mezcla misma. Para el material modificado con látex, también puede ser mezclado separadamente. Actualmente pueden conseguirse agentes de adherencia de lechadas de cemento modificadas por látex y combinadas en fábrica que se mezclan con agua en el sitio y se aplican a la superficie preparada de concreto.

En la industria también se usan agentes adherentes de látex. El material debe satisfacer los requisitos de ASTM C 1059. Deben seguirse estrictamente las instrucciones de los fabricantes cuando se usen productos de látex, porque no todos son compatibles con el concreto. Los siguientes productos látex se usan como agentes de adherencia:

- Estireno butadieno (SBR) - Acrílico - Polivinilacetato (PVA)

Se puede encontrar una variedad de productos epóxicos para usarse como compuestos de adherencia. El material debe satisfacer los requisitos de ASTM C 881- "sistema de adherencia a base de resina epóxica para concreto" relacionados con propiedades físicas tales como resistencia de adherencia, viscosidad, compatibilidad térmica y contracción

El paso adicional en el proceso de reparación la aplicación de un agente de adherencia, puede crear un problema adicional de aseguramiento de la calidad. Los agentes de adherencia no están diseñados para compensar la pobre preparación de la superficie. El uso exitoso de los agentes de adherencia debe incluir el proceso de adherencia en los pasos descritos anteriormente.

3.3.6. Técnicas de colocación.- La elección de un método de colocación para la reparación de la superficie incluye los siguientes pasos importantes:

1. Selección de un material de reparación que reconstituya mejor la resistencia, integridad y rendimiento requeridos por el diseño original de la estructura y la situación actual.
2. Selección de un método de colocación que transporte exitosamente el material de reparación hasta el substrato de concreto preparado.
3. Verificación de la factibilidad de uso del material de reparación seleccionado y el método de instalación.

La técnica de colocación debe llevar el material de reparación seleccionado hasta el substrato preparado con los resultados especificados. El material de reparación debe lograr una adherencia satisfactoria al substrato existente, debe llenar la cavidad preparada sin segregación, y encapsular completamente el acero de refuerzo expuesto. Si no se logran los requisitos anteriores, la reparación de la superficie no podría cumplir con las tareas estructurales de protección y de estéticas pretendidas.

La adherencia de la reparación al substrato depende en gran medida del agarre mecánico con la superficie de concreto preparada. Para que esto ocurra, debe aplicarse una fuerza adecuada al material de reparación para ponerlo en contacto íntimo con la superficie preparada. El material de reparación debe también tener una cantidad adecuada de aglomerante para interactuar con la superficie preparada la manera en que se aplique la fuerza al material de reparación para obtener la adherencia depende de la técnica de aplicación.

El requisito, para que el material de reparación permanezca uniforme durante la colocación es muy importante. Cualquier segregación de los componentes de los materiales alterará las propiedades físicas del material de reparación. Puede ocurrir segregación durante el

mezclado cuando no se permite un tiempo adecuado para dispersar todos los componentes. El resultado es alto contenido de rellenable y bajo contenido de adherente o alto contenido de adherente y bajo contenido de rellenable. Puede también ocurrir segregación cuando se usa material de reparación mixto o seco neumáticamente colocado. La turbulencia de aire alrededor de una gran cantidad, o congestión del acero de refuerzo, puede causar segregación, bolsas de arena y vacíos.

El completar el relleno de las cavidades superficiales es también un paso importante. Con ciertas técnicas de colocación, puede no ocurrir un relleno completo. Los aspectos de durabilidad e ingeniería son las consideraciones más importantes al seleccionar el material de reparación y el método de aplicación.

Las propiedades últimas a largo plazo del material de reparación son mucho más importantes que la facilidad de aplicación. Antes de aceptar finalmente el material de reparación y el proceso de instalación cheque el que sea posible su construcción.

A continuación se mencionaran y explican brevemente las diferentes técnicas de colocación de los materiales de reparación:

Empaquetado seco.- El empaquetado seco es un método para colocar mortero o concreto con revenimiento cero o casi cero, apisonando en las cavidades superficiales. La consistencia del mortero del empaquetado seco debe ser tal que pueda ser moldeada dándole la forma de una bola sin un sangrado excesivo. La compactación densifica el mortero y proporciona el contacto íntimo necesario con el concreto existente para lograr la adherencia. Pueden usarse las técnicas de empaquetado seco en todos los lugares: por encima de la cabeza, verticales y planos. Las mejores aplicaciones generalmente son pequeñas cavidades como los agujeros de amarre, pequeñas áreas de oquedades superficiales o en las partes bajas de las nervaduras (mostradas en la ilustración).

Cada reparación de mortero de empaquetado seco se coloca en capas. La compactación se logra con un palo de madera dura para evitar el pulido de la superficie. El curado se logra con un curado húmedo y continuo durante 7 días.

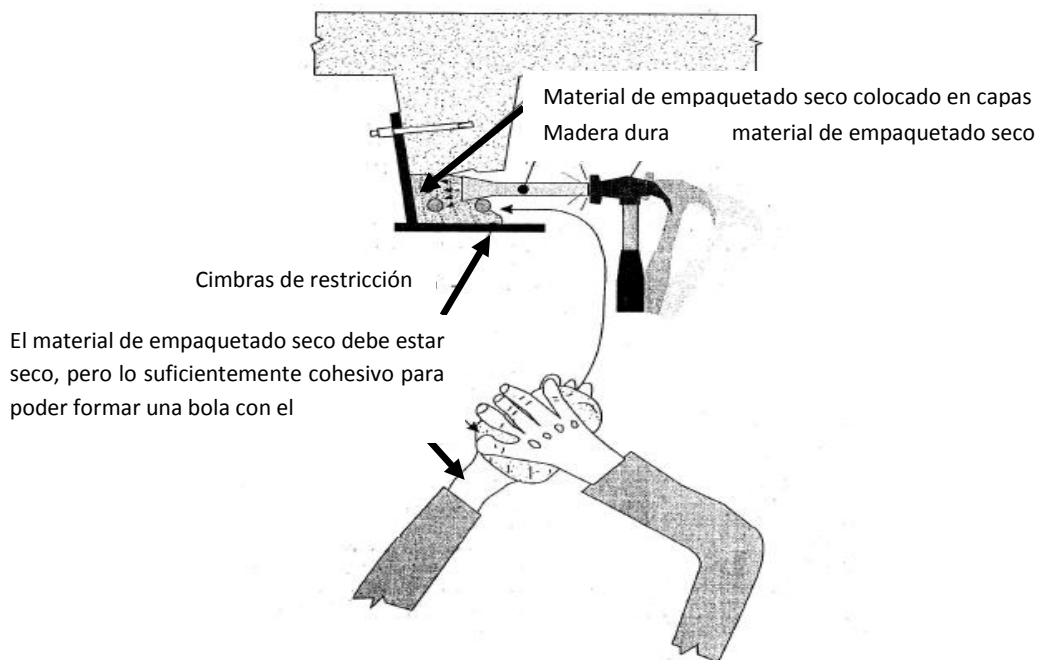


Figura 3.36 Estrategia de colocación “empaquetado en seco”

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Cimbra y colocado en obra.- Uno de los métodos más comunes para la reparación de superficies en localizaciones verticales y en alguno de los casos, a una altura por encima de la cabeza, es la colocación de moldes y colado del material de reparación en la cavidad preparada. Las cimbras facilitan el uso de muchos materiales diferentes de reparación, seleccionados con base en el rendimiento de la colocación en la obra comparado con la factibilidad de construcción. El material de reparación debe ser de baja contracción y proporcionar la fluidez necesaria. La colocación de los materiales de reparación sigue la práctica de colocación normal.

Es necesario el varillado o la vibración interna para remover el aire y proporcionar contacto íntimo con el substrato de concreto existente. Las superficies moldeadas hacen difícil la colocación de los agentes de adherencia y en la mayoría de las aplicaciones, no son necesarios. Las cimbras se hacen con aberturas apropiadas para procurar el acceso del material de reparación en la cavidad de la cimbra. En alguna de las aplicaciones puede ser difícil llenar completamente la cavidad. En esos casos, es efectivo un paso final de empaquetado seco de la cavidad restante.

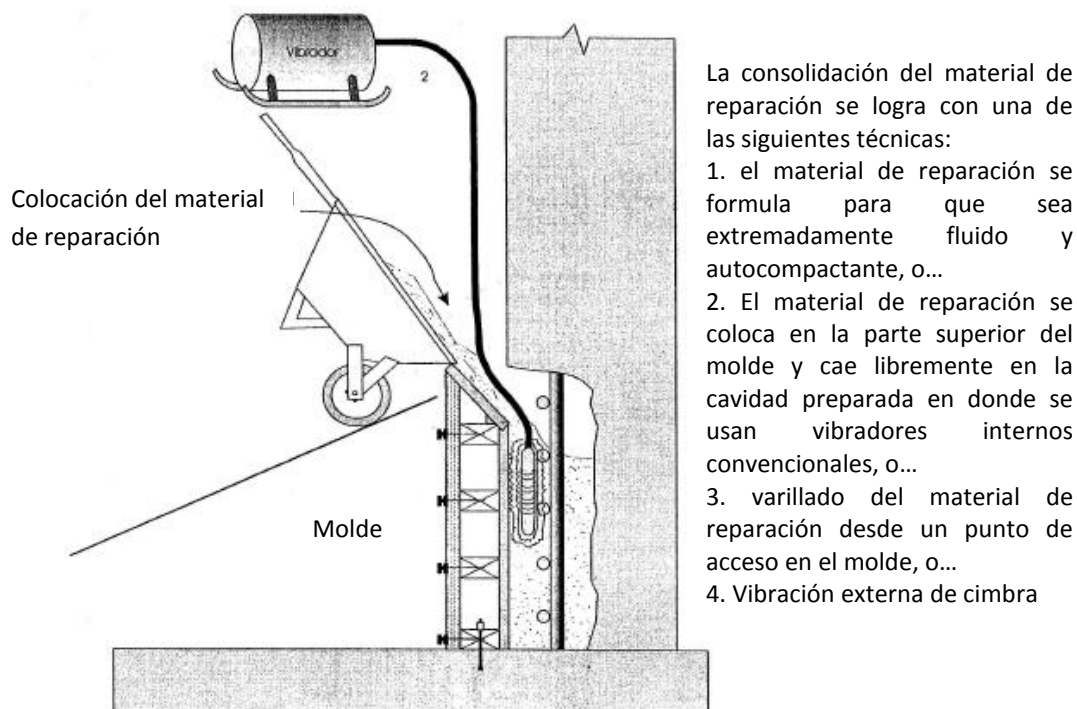


Figura 3.37 Estrategia de colocación “Cimbra y colado en obra”

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Agregado y precolocado lechadeado.- El agregado precolocado lechadeado es un proceso de dos pasos. El primer paso, involucra la colocación del agregado en la cavidad durante el montaje del molde. El agregado se somete a una granulometría escalonada y se lavan todos los finos. La relación de huecos de la cavidad, después de que el agregado es colocado, varía del 40% al 50%. El segundo paso, involucra el bombeo de una lechada altamente fluida a través de la cimbra y en el agregado precolocado. El flujo de la lechada llena los huecos inferiores y progresivamente llena la cavidad, fluyendo eventualmente a puertos de elevación más altos. Después de que la lechada fluye desde los puertos adyacentes, se desconecta la manguera de la lechada del puerto que está siendo bombeado, y se conecta otra vez al puerto que muestra un nuevo flujo. El proceso continua hasta que la cavidad está llena y presurizada. El flujo de lechada hace contacto con el substrato preparado a medida que se llena la cavidad, proveyendo un íntimo contacto y adherencia. Una ventaja única de este método es la baja contracción por secado del material de reparación, debido al contacto punto por punto entre los agregados. El contacto del agregado restringe el cambio de volumen de la lechada de cemento a medida que ocurre la contracción por secado. Pueden

usarse varias lechadas para el proceso de lechadeado. Las lechadas más populares son las hechas a base de cemento Portland y, para aplicaciones especiales, las resinas epóxicas.

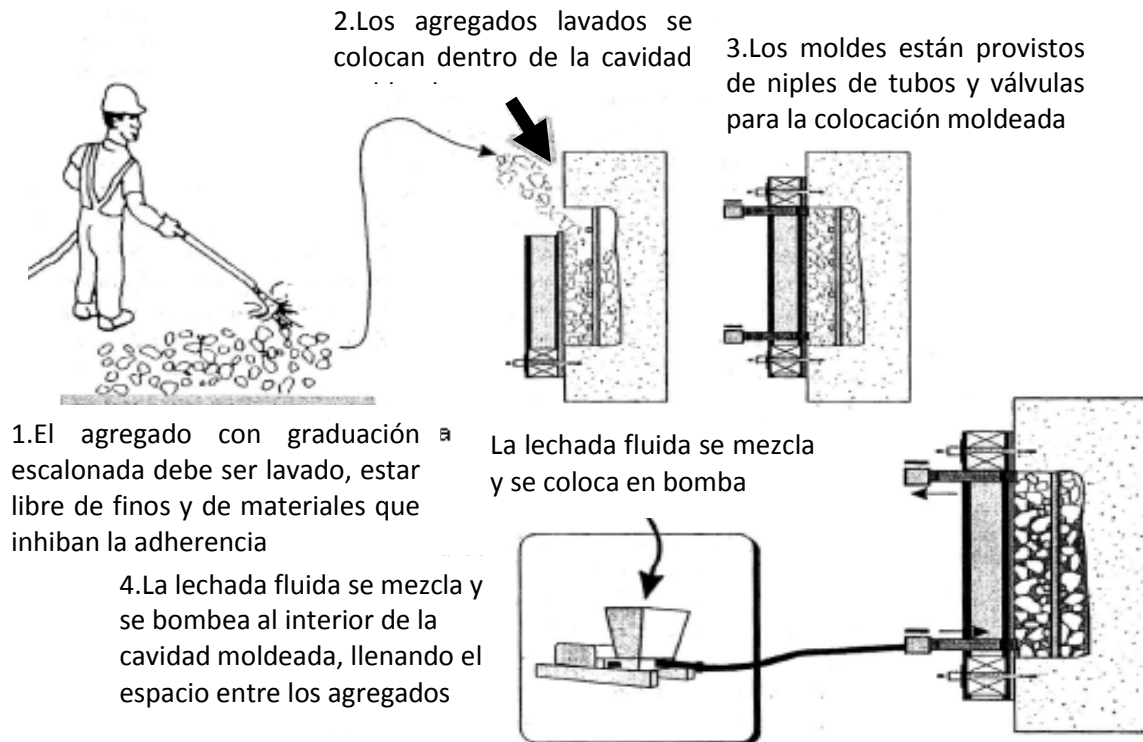


Figura 3.38 Estrategia de colocación “Agregado y precolocado lechadeado”

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Concreto lanzado mezclado en seco.- El concreto lanzado mezclado en seco es de un método que involucra el premezclado del aglomerante y los agregados, que luego son introducidos en un alimentador mecánico especial que dosifica los materiales premezclados introduciéndolos en una manguera. El material es transportado a través de la manguera con aire comprimido hasta una boquilla que está equipada con un anillo para agua, en donde el agua adicional es mezclada con el aglomerante y los agregados. La mezcla es expulsada en choro desde la boquilla a gran velocidad y proyectada a las superficies de concreto preparadas. El proceso varía dependiendo del grosor y orientación necesarios. Donde la reparación es gruesa, el proceso puede involucrar la colocación de capas múltiples. El grosor excesivo de capas individuales puede dar como resultado el desprendimiento en forma de costras.

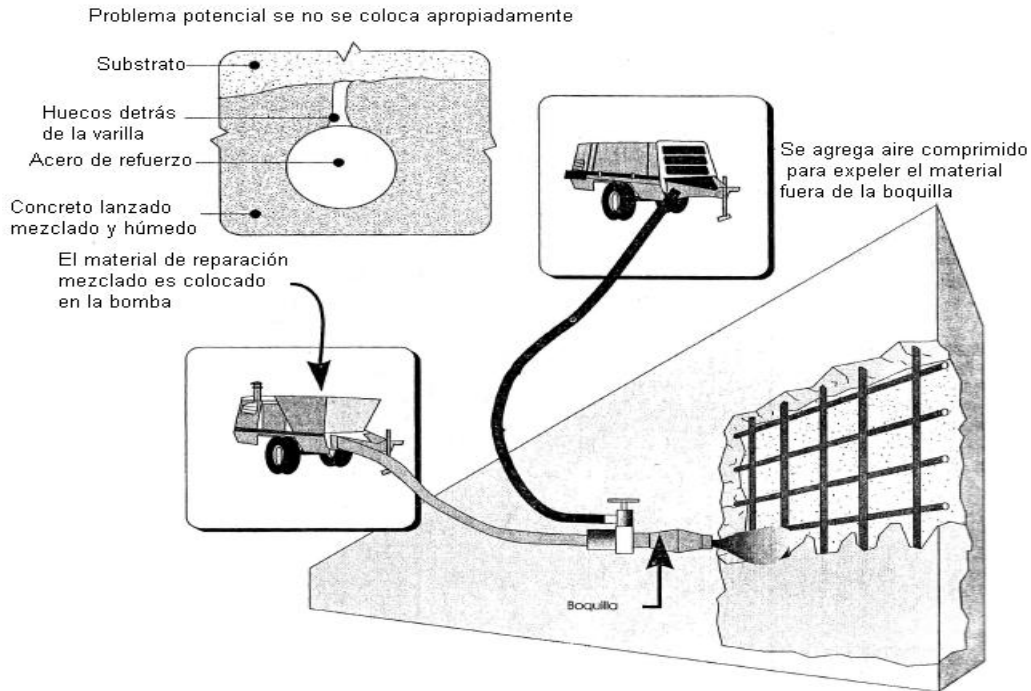


Figura 3.39 Sistema para lanzamiento de concreto mezclado seco (o mojado)

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

El uso de aditivos especiales ha ayudado a mejorar la trabajabilidad y el rendimiento del concreto lanzado. Con el humo de sílice se deberá usar un aditivo reductor de agua al usar esta adhesión, pues mejora las propiedades de adherencia y cohesión del concreto, junto con su capacidad para proporcionar grosores de colocaciones más grandes.

Las propiedades de endurecimiento resultantes incluyen mayores resistencias a flexión y compresión y una durabilidad con resistencia a la congelación y el deshielo y al ataque de químicos. Debe evitarse el uso de aceleradores químicos en donde no sea absolutamente necesario. Se ha encontrado que los aceleradores causan mayor contracción por secado.

Existen algunos Problemas típicos asociados con reparaciones de concreto lanzado pudiendo mencionar los siguientes:

- Presencia de huecos debido a rebotes encapsulados, esto es común cuando se usan capas múltiples o cuando se encuentra abundante refuerzo.
- Agrietamiento por contracción causado por alto contenido de cemento, curado inapropiado, o contenido excesivo de agua.

Tabla 3.9 Aditivos para concreto lanzado mezclado y seco

Aditivos	Beneficio	Comentarios
Humo de sílice	• Grosor incrementado • Densidad incrementada • Resistencia incrementada • Resistencia incrementada a congelación y deshielo • Resistencia incrementada a químicos • Rebote reducido • Adhesión incrementada • Resistencia incrementada a flexión y compresión.	• Si es necesario utilizar un aditivo reductor de agua con esta adición, ya que por su finura requiere mayor cantidad de agua.
Acelerantes	• Acumulación incrementada de capas • Reduciendo tiempo de fraguado inicial • Incremento en la ganancia de resistencia temprana	• Contracción por secado incrementada • Resistencia del concreto lanzado reducida con la edad • No es necesario se usa humo de sílice y reductor de agua
Fibra de acero	• Eliminación de sombras y huecos que se crean con el refuerzo convencional • Resistencia mejorada al impacto	• Posibles detalles de corrosión
Fibras de polipropileno	• Reduciendo agrietamiento por contracción plástica	• Puede formarse una película endurecida de látex entre las capas causando delaminación
Látex	• Resistencia mejoradas a flexión, tensión y adherencia • Resistencia incrementada a congelación y deshielo ataque de químicos	• Puede formarse una película endurecida de látex entre las capas causando delaminación

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Concreto lanzado mezclado en húmedo.- El concreto lanzado, mezclado húmedo es un método que involucra el premezclado de todos los ingredientes (excepto aceleradores) incluyendo aglomerantes, agregados, aditivos, y agua de mezclado. Los materiales de reparación premezclados son depositados en una bomba o en un recipiente de presión que transporta los materiales hasta una boquilla de salida, en donde se introduce aire comprimido.

El material de reparación es expedido hacia el sustrato con el aire comprimido. Pueden usarse aditivos para mejorar material de concreto lanzar. Comúnmente se usan humo de sílice y fibra para mejorar la durabilidad. Se requiere de aire incluido para resistencia a congelación y deshielo.

Reparación a toda profundidad.- En ciertas situaciones, la reparación de la superficie puede recibir un mejor servicio si la reparación se hace a toda profundidad. Por ejemplo, cuando las superficies de concreto tienen un daño superficial extenso, puede ser más económico y dar lugar a reparaciones que duren más tiempo si la parte afectada de los miembros es removida y reconstruida. Debe considerarse el lograr minimizar el perímetro restringido de contracción por secado.

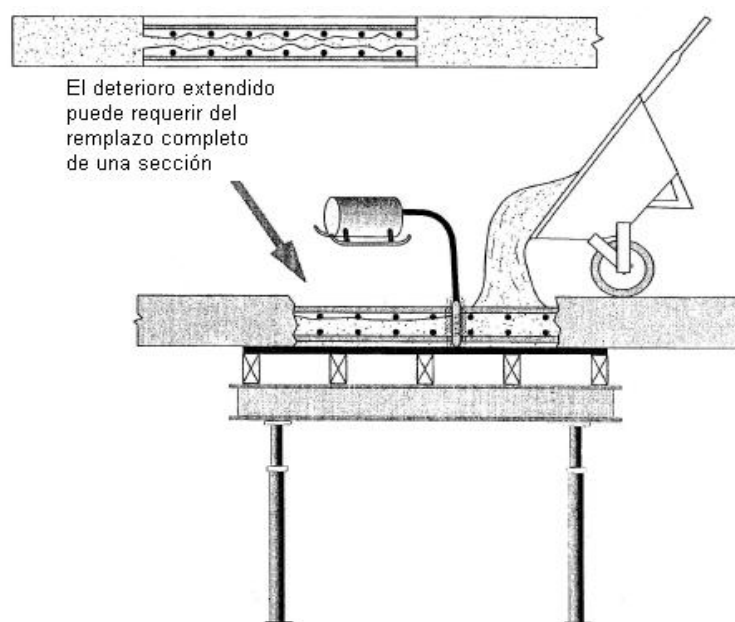


Figura 3.40 Estrategia de colocación “Reparación a toda profundidad”
(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Después de la colocación del nuevo concreto resulta una contracción por secado, causando tensión entre el miembro recién construido y en la adherencia entre el nuevo y el viejo concreto. En la mayoría de los casos, si no se atienden los esfuerzos de tensión, puede aparecer un agrietamiento que no estaba planeado. Deben usarse mezclas de concreto de baja contracción para reducir estos esfuerzos.

Capas superpuestas.- Las capas superpuestas se usan para reparar estructuras de concreto como un remedio para una variedad de problemas del mismo. Pueden usarse para mejorar el drenaje, para mejorar el tráfico de vehículos o la capacidad para soportar cargas; para incrementar la resistencia a derrapadas; o para proteger el concreto subyacente contra ambientes agresivos. Muchas capas superpuestas también atienden problemas del deterioro de superficie subyacente. Las capas superpuestas pueden ser hechas de diferentes materiales desde muy delgadas (1/8 de pulgada (3mm)) hasta muy gruesas.

Los tableros de puente y las plataformas estacionamientos, así como también los pavimentos de concreto, son lugares comunes para el uso de capas superpuestas adheridas para restaurar el concreto existente tratado y deteriorado. La preparación de la superficie de las plataformas existentes utiliza técnicas de molido, hidrodemolición y martillado manual.

Los capas superpuestas para estructuras de puentes y estacionamientos generalmente incluyen reparaciones de superficies a las áreas deterioradas de los tableros y plataformas. se usan enrasadoras manuales y mecánicas para nivelar y consolidar los materiales de las capas superpuestas. se usa cemento portland normal, concreto modificado con látex o con microsilice para los sistemas de capas superpuestas

Gruesa capa superpuesta no adherida que requiere refuerzo interno

Capa superpuesta delgada de polímero aplicado manualmente o con una llana mecánica

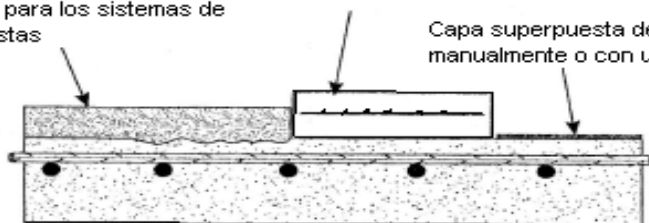


Figura 3.41 Estrategia de colocación “Capas superpuestas”

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

Los materiales comunes usados en las capas superpuestas son concreto de cemento Portland con una baja relación de agua-cemento, concreto de cemento Portland modificado con látex y concreto de cemento Portland modificado con microsilice. La mayoría de las capas

superpuestas adheridas usadas en la repalación de las plataformas de estacionamientos y tableros de puente y pavimentos involucran rangos de grosor de 1.5" a 3" (38 mm a 76 mmn). Muchas aplicaciones no requieren de refuerzo adicional. Las capas superpuestas requieren prestar atención especial a las técnicas de colocación para evitar varios probleenras tales conro agrietanrriento por contracción plástica, falta de consolidación, segregación o pobre adlrerencia.

Aplicación manual.- Las técnicas de aplicación manual se usan para colocar materiales de reparación sin pandeo sobre lugares verticales y sobre la cabeza. La mayoría de los materiales aplicados manualmente son combinaciones especiales de cemento, agregados finamente graduados, Rellenadores, sistemas con compensación de contracción, y agua. El material mezclado se aplica a la superficie preparada; ya sea con una llana o con la mano. La presión aplicada fuerza el material de reparación a entrar en la estructura de poros de concreto expuesto.

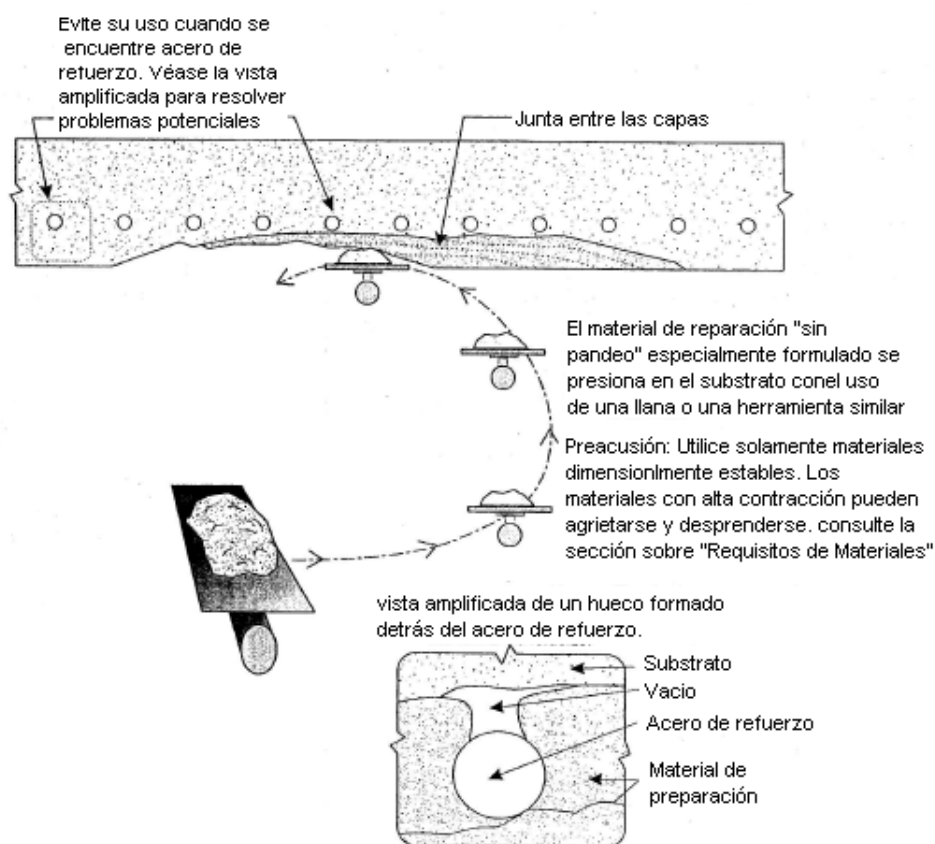


Figura 3.42 Estrategia de colocación “Aplicación manual”

(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

El material de reparación está diseñado para "colgar" en el lugar hasta que se agrietan capas subsecuentes. Cada capa recibe un acabado áspero para promover la adherencia con la siguiente capa. El mejor uso de esta técnica es para reparaciones cosméticas tropicales que no involucran acero de refuerzo. Cuando se encuentra acero de refuerzo, es difícil consolidar y proporcionar la encapsulación completa del acero de refuerzo. Los problemas asociados con esta técnica involucran pobre adherencia entre las capas y huecos alrededor del acero de refuerzo.

Cimbra o molde y bomba.- La técnica de cimbra y bomba es un método relativamente nuevo desarrollado en los últimos 20 años, coincidiendo con el desarrollo de bombas de producción variable de concreto y mortero. La técnica de cimbra y bomba se usa para aplicaciones verticales y superficies horizontales a poca altura y sobre la cabeza. La técnica de cimbra y bomba es una alternativa para el concreto lanzado, la colocación manual, y las técnicas de agregado precolocado y lechadeado.

El método de reparación de cimbra y bomba es un proceso en dos pasos que consiste en bombear el material de reparación en la cavidad, entre el molde o cimbra y el concreto existente. La técnica de cimbra y bomba permite el uso de muchos materiales de reparación diferentes. El requisito necesario para la selección del material es la bombeabilidad. Se usan varias bombas dependiendo del diseño de la mezcla (particularmente el tamaño del agregado). Previamente a la construcción de la cimbra, deben recortarse y emparejarse todas las superficies que puedan hacer que el aire quede atrapado durante el proceso de bombeo, o deben instalarse tubos de ventilación. Los materiales de reparación se mezclan y se bombean dentro de la cavidad confinada. La secuencia del bombeo se hace desde los puntos bajos hacia los puntos altos, y cuando se hacen trabajos a una altura por encima de la cabeza, desde un extremo hasta el otro. Las grandes áreas pueden requerir tablas de contención para separar las reparaciones en el claro o cuando la cavidad está llena, se ejerce presión de bombeo en el molde, haciendo que el material de reparación se consolide y ponga en contacto íntimo, y procure la adherencia con la superficie de concreto existente.

La técnica de cimbra y bombeo ofrece muchas ventajas sobre los otros sistemas alternos, tales como concretos lanzados, colocación manual, y agregado precolocado lechadeado e incluyen:

- El uso de casi cualquier material para reparación desde los morteros hasta concreto con adiciones especiales o materiales de cemento hidráulico.
- La colocación no está limitada por la profundidad de la reparación o por el tamaño o densidad del refuerzo expuesto.
- Los materiales de reparación son premezclados y colocados para proporcionar una sección transversal uniforme sin segregación o líneas intermedias de adherencia.
- El proceso no depende de una lucha con las fuerzas de gravedad; todos los materiales están soportados por los moldes durante la colocación y el proceso de curado.
- El proceso de presurización consolida el material de reparación, procurando la adherencia entre el material y el agregado.
- La cimbra protege el material de reparación durante el proceso de curado.
- El proceso está menos sujeto a errores de un operador individual.
- Es más fácil proveer el aseguramiento de la calidad de la reparación en la obra.

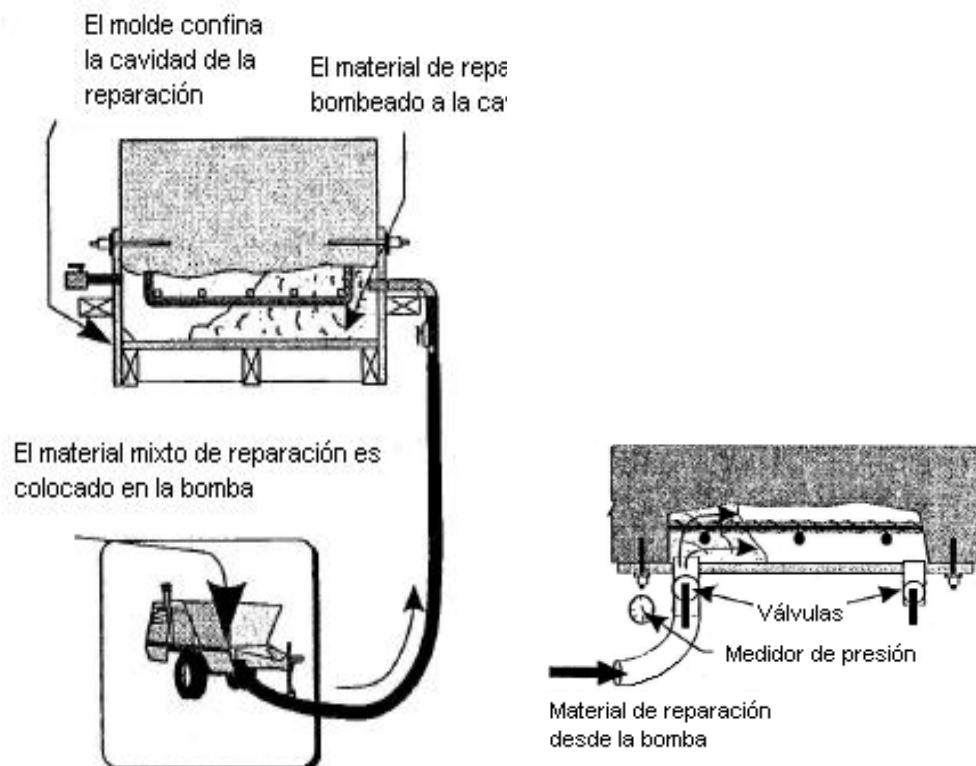


Figura 3.39 Estrategia de colocación “Cimbra o molde y bomba”
(Fuente: Manual Ilustrado de Reparación y Mantenimiento de Concreto)

El equipo de bombeo generalmente se ajusta al tipo de material de reparación y tamaño del proyecto de reparación. El material de reparación especificado exige el bombeo a través de una línea de bombeo hasta la cavidad moldeada. Los materiales de reparación cementantes tienen varios contenidos de agregados y tamaños de agregados. Las mezclas de reparación de grano fino con poco, o sin agregado grueso pueden bombearse con bombas de tipo monofásico o con válvulas de pistón o de bola. Los materiales de reparación con agregados gruesos (mayores a 3/8" (9.5mm)) se bombean mejor con bombas de válvulas hidráulicas y de columpio. Cualquier equipo de bombeo debe tener controles adecuados para regular las velocidades de flujo.

Los requisitos de factibilidad de construcción para los materiales usados con la técnica de molde y bomba están limitados únicamente por su capacidad para hacer bombeados y sus características de flujo. Más importante que la factibilidad de construcción son las propiedades de los materiales colocados en la obra tales como baja contracción por secado, resistencia compatible, propiedades térmicas y elásticas, y cualquier requisito de durabilidad. Aunque la factibilidad de construcción de los materiales de reparación requiere de buena bombeabilidad y fluidez, estas características requeridas no deben sacrificar el requisito de baja contracción por secado. La contracción por secado puede causar agrietamiento, delaminación, incapacidad para soportar cargas y poca durabilidad.

CAPÍTULO IV

METODOLOGIAS PARA LA REPARACIÓN DE PAVIMENTOS DE CONCRETO

Las metodologías de reparación, que estudiaremos son una de las técnicas del mantenimiento principales de pavimentos rígidos consideradas para cada proyecto, así pues se define mantenimiento de pavimentos al conjunto de acciones que se desarrollan en forma constante y periódica para evitar el deterioro o la destrucción prematura de los pavimentos existentes, con la finalidad de conservar el uso y buen estado físico de la estructura vial para preservarla en condiciones adecuadas de operación y servicio, ofreciendo seguridad y comodidad al usuario.

Todos los pavimentos requieren mantenimiento puesto que los esfuerzos y las fuerzas de la naturaleza están constantemente actuando sobre ellos. Los esfuerzos naturales son causados por los cambios de humedad y temperatura, mientras que las cargas más ligeras eventualmente causan alguna fatiga en el pavimento con el tiempo, el tránsito de vehículos pesados los daña rápidamente.

Fisuras y otros tipos de roturas de la superficie que en etapas tempranas parecen ser invisibles pueden desarrollarse en defectos serios, los cuales pueden ser muy costosos en términos de tiempo, dinero y trabajo.

Las cuatro principales técnicas de mantenimiento de pavimentos consideradas para cada proyecto son:

- Mantenimiento preventivo: este toma lugar antes de que el deterioro de las vialidades sea evidente. esta operación de mantenimiento es de tipo preventivo siempre y cuando tomen lugar antes que un deterioro se haga presente.
- Reparación: el tipo de trabajo requerido para llevar a la estructura existente de pavimento a una condición de desempeño satisfactoria, previniendo daños mayores del pavimento reparando pequeños defectos sin la colocación inmediata de una sobrecarpeta.
- Reencarpetado: adición de sobrecarpetas para proveer una estructura adicional o una mejora en la serviciabilidad.

- Reconstrucción: completa remoción de la sección del pavimento y reemplazo con un nuevo diseño.

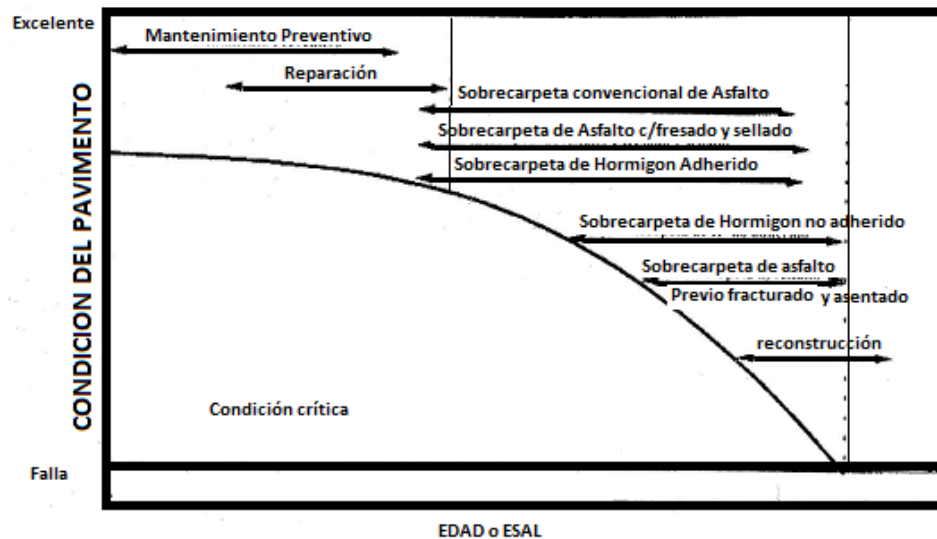


Figura 4.1 El espectro de la rehabilitación de pavimentos rígidos

(Fuente: diseño de Pavimentos AASHTO-93 IBCH extraído de Darter y Hall 1990)

En la siguiente figura 4.17, se presenta para pavimentos rígidos o de concreto, la relación entre su condición y la alternativa de mantenimiento que es más apropiada en un tiempo dado.

Reparación de pavimentos de concreto.- Una falla prematura de un pavimento puede contrarrestarse de dos maneras: mediante una reparación ingenieril o mediante acciones para mejorar la movilidad de los usuarios; esto último no implica una solución definitiva a los problemas del pavimento. Por eso es que nos concentraremos en la reparación ingenieril del pavimento, una labor sencilla pero de cuidado, no se trata simplemente de tapar el hueco para mejorar la movilidad.

La reparación de un pavimento de concreto deteriorado tiene una gran cantidad de componentes y variables que hace de esta actividad un área apasionante de la ingeniería de pavimentos, exige el análisis teórico-práctico, va más allá de la aplicación de un modelo e implica la correcta interacción entre la mano de obra, los materiales y los equipos. Además, requiere de rigurosos procedimientos para evitar que se repitan las fallas que ocasionaron el deterioro y se garantice la vida útil del pavimento, que generalmente deben sobrepasar los

veinte años en los pavimentos de concreto, siempre que existan: buen diseño, correcta construcción, buenos materiales y óptimo mantenimiento.

Cuando el deterioro del pavimento se presenta antes que se cumpla su edad de diseño, es necesario revisar las diferentes acciones que pudieron haber afectado el comportamiento del sistema y, debe implementarse la evaluación de su estado y adoptar medidas destinadas a frenar el deterioro, de tal manera que se tengan herramientas para tomar decisiones en cuanto a mantener o rehabilitar la vía y prolongar o devolver su vida útil. En el análisis de la reparación se deberá plantear la solución integral para atacar todas las causas posibles del daño, sin aventurarse a asignar la causa a un solo factor.

Dependiendo del tipo y severidad de fallas y de la edad de la vía, se deben realizar acciones preventivas y correctivas específicas para mantener y prolongar su vida útil. La figura 4.18, muestra que la curva de condición estructural de un pavimento sin mantenimiento decrece con el tiempo y el tránsito y en esta pérdida se genera diferentes necesidades de intervención. Los costos de estas acciones se incrementan si no se hacen las intervenciones a tiempo.

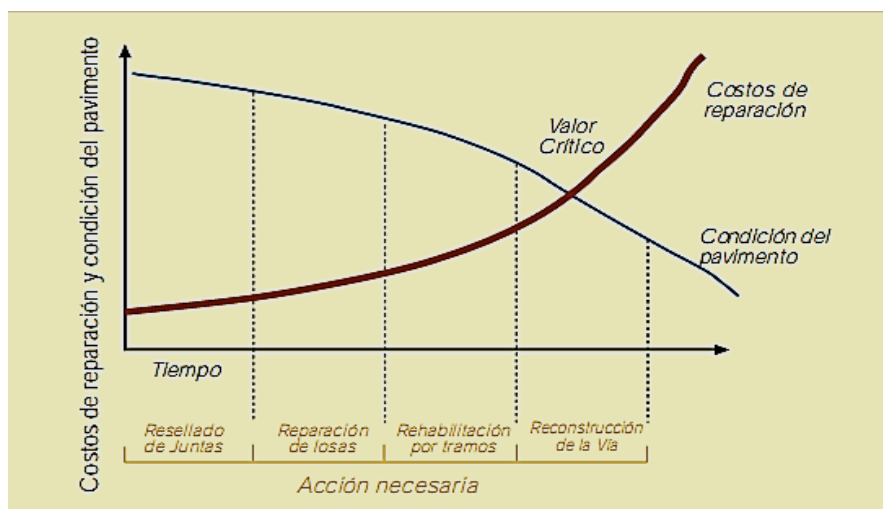


Figura 4.2 Evolución de la vida útil de un pavimento sin mantenimiento y costos de reparación de Las distintas acciones preventivas o correctivas ante la demora en su aplicación.
(Fuente: Revista del Instituto Salvadoreño de Cemento Y Concreto ISCYC N°40)

Como es bien conocido, los costos de mantenimiento de un pavimento de concreto son menores que en otros tipos, pero deben realizarse a tiempo.

Cuando se realiza una acción necesaria a tiempo se mejora la condición del pavimento y alcanzará y prolongará la vida útil del servicio con muy buena calidad, sin que se hagan necesarias acciones más costosas como puede apreciarse a continuación:

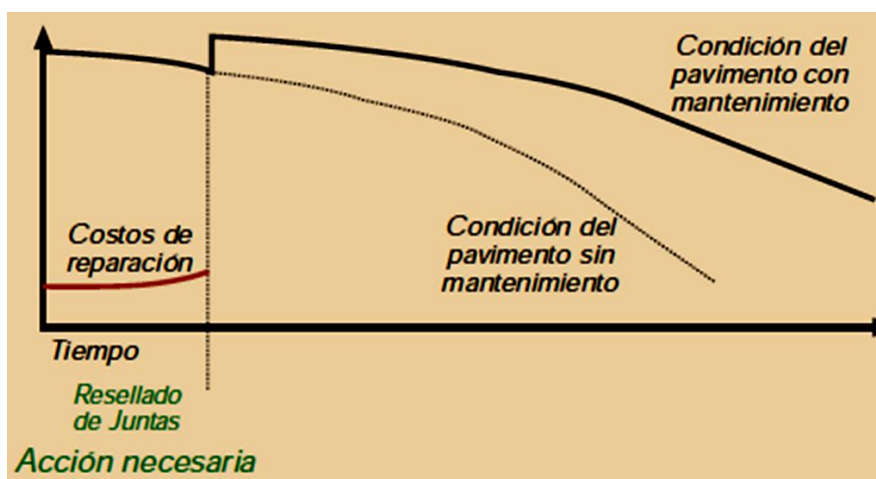


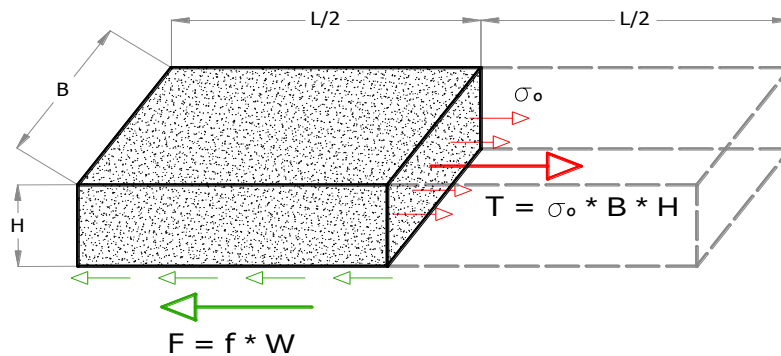
Figura 4.3 Mejoría de la condición del pavimento con mantenimiento oportuno
(Fuente: Revista del Instituto Salvadoreño de Cemento Y Concreto ISCYC N°40)

4.1. Análisis teórico de los pavimentos de concreto

4.1.1. Comportamiento.- Una vez realizado el pavimento rígido de una vía, las losas de concreto estarán sujetas a varios esfuerzos y deformaciones, que marcaran su comportamiento desde su vaciado. Los Esfuerzos y deformaciones en pavimentos de concreto se originan debido a:

- Cambios uniformes de temperatura
- Gradientes térmicos
- Acción de las cargas

Esfuerzos por cambios uniformes de temperatura.- Se marcan en el momento en que se termina de construir la losa; cuando se hace el vaciado del concreto la losa se contrae, generándose esfuerzos de tracción.



Por condición de equilibrio de las fuerzas resultantes, se tiene que:

$$F = T \quad f * W = \sigma_o * B * H \quad W = \frac{\gamma_{\text{concreto}} * B * H * L}{2}$$

$$f * \frac{\gamma_{\text{concreto}} * B * H * L}{2} = \sigma_o * B * H \quad \sigma_o = \frac{\gamma_{\text{concreto}} * L * f}{2}$$

El esfuerzo a tracción σ_o , es directamente proporcional a la longitud y es máximo en $L/2$

$$\sigma_o = f (L, f)$$

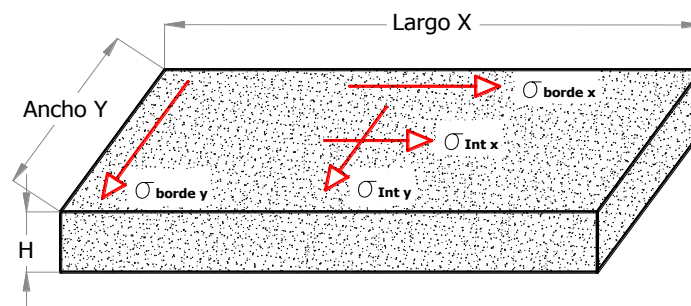
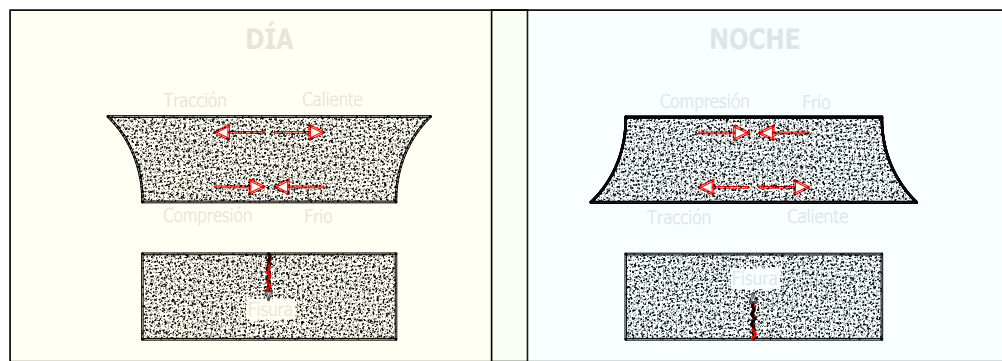
Tabla 4.1 Coeficientes de fricción más comunes.

Tipo de material	Coeficiente de
Superficie tratada	2.2
Estabilizada con cal	1.8
Estabilizada con asfalto	1.8
Estabilizada con cemento	1.8
Grava de río	1.5
Piedra pulida	1.5
Arenisca	1.2
Sub-rasante natural	0.9

(Fuente: Esfuerzos y deformaciones en los pavimentos rígidos. Ing. Carlos Benavidez Bastidas)

A tempranas edades del concreto, la resistencia a tracción es demasiado baja por lo tanto, durante el tiempo en que está fraguando, se debe controlar que $\sigma_o < 1.0 \text{ Kg/cm}^2$; además se puede jugar con las condiciones climáticas para examinar el esfuerzo a tracción, también se pueden colocar elementos antifriccionantes como riegos de asfalto, plásticos o papeles para disminuir el coeficiente de fricción f , o controlar la longitud que queda definida por las condiciones de temperatura. Losas muy largas, pueden agrietarse por efectos de la retracción restringida del hormigón fresco; también se puede evitar construyendo losas más cortas (tratando de que el mayor numero de losas, tenga la misma longitud).

Esfuerzos por alabeo o por gradientes de temperatura.- Se producen por los cambios térmicos que sufre la losa de hormigón, durante el día y/o noche, y en combinación con el efecto de la carga, puede llegar a partir la losa; Esta clase de esfuerzos, son más críticos en la dirección más larga y se deben controlar tanto en el borde, como en el centro de las losas.



$$\sigma_{\text{borde } x} = \left[\frac{E * \alpha * \Delta T^o}{2} \right] * C_x$$

$$\sigma_{\text{borde } y} = \left[\frac{E * \alpha * \Delta T^o}{2} \right] * C_y$$

$$\sigma_{\text{Interno } x} = \frac{E * \alpha * \Delta T^o}{2} * \frac{C_x + \nu * C_y}{1 - \nu^2}$$

$$\sigma_{\text{Interno } y} = \frac{E * \alpha * \Delta T^o}{2} * \frac{C_y + \nu * C_x}{1 - \nu^2}$$

Los esfuerzos por alabeo, depende de:

- Módulo de elasticidad del concreto (E) y relación de Poisson (μ)
- Diferencia de Temperatura entre las dos caras de la losa

$$\Delta T^o = \delta_T * H_{\text{losa}} \quad Cx = \frac{L_{\text{losa}}}{\rho} \quad Cy = \frac{A_{\text{losa}}}{\rho}$$

δ_T : gradiente de temperatura; en las noches, el gradiente de temperatura es la mitad del gradiente de temperatura del día.

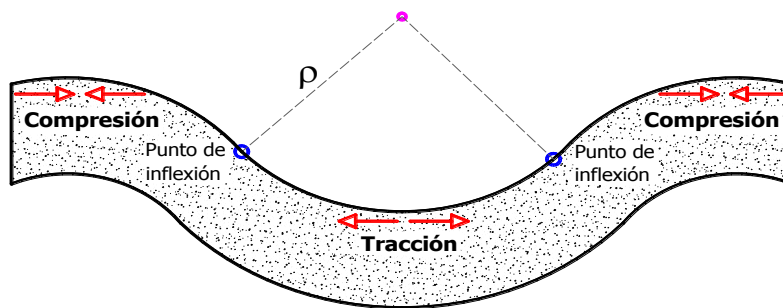
- Coeficiente de dilatación térmica del concreto (α)
- Coeficientes de alabeo (C_x, C_y), los cuales son función del largo o ancho de la losa, dividido por el radio de rigidez relativa (ρ)

C_x --> Sentido largo C_y --> Sentido transversal

$$\rho = \sqrt[4]{\frac{E * H^3}{12 * (1 - \nu^2) * K}}$$

Donde: **K**: Módulo de reacción del apoyo de la losa.

E, μ : Características mecánicas del concreto. **H**: Espesor de la losa.



ρ Generalmente de 120 cm a 45 cm

Tabla 4.2 Valores del coeficiente de expansión térmica del concreto

Tipo de agregado	Coeficiente de dilatación térmica	
	*10 ⁻⁶ /°C	*10 ⁻⁶ /°F
Cuarzo	11.9	6.6
Arenisca	11.7	6.5
Grava	10.8	6.0
Granito	9.5	5.3
Basalto	8.6	4.8
Caliza	6.8	3.8

(Fuente: Esfuerzos y deformaciones en los pavimentos rígidos. “Ing. Carlos Benavidez Bastidas”)

Como referencia, la longitud de la losa (L) para controlar el fenómeno de alabeo, debe ser:

$$L \leq 24 * H_{\text{Losa}} \Rightarrow \text{para apoyo granular} \quad L \leq 20 * H_{\text{Losa}} \Rightarrow \text{para apoyo estabilizado}$$

Se comparan la magnitud de los esfuerzos tanto de borde como interno, con 0.45 veces el modulo de rotura del concreto. Si $\sigma_{\text{borde}} / \sigma_{\text{interior}} > 0.45 * M_{\text{rotura}}$

Significa que solamente los esfuerzos térmicos a los que está expuesta la losa, producen fatiga en el concreto, siendo lo coherente que los esfuerzos que produzcan las cargas, sean los que le generen fatiga al hormigón.

Los esfuerzos por alabeo, ayudan a determinar la longitud de la losa; normalmente se establece que en función del espesor, tratando de que sean lo más bajos posibles, en referencia a $0.45 * M_{\text{rotura}}$; en diseño, la PCA presenta el chequeo por alabeo; para el diseño del espesor de la losa, generalmente los esfuerzos por alabeo, no se superponen al efecto producido por las cargas.

Esfuerzos y deformaciones por acción de las cargas.- Se pueden calcular esfuerzos y deformaciones en las esquinas de las losas, bordes e interior, mediante expresiones matemáticas desarrolladas. El esfuerzo de borde es el más importante y trascendental, debido a la distribución de las cargas de los vehículos; por lo tanto, es necesario calcular los esfuerzos en los bordes y la deformaciones en las esquinas.

$$\sigma_{\text{borde}} = f$$

- Características de la carga (P, Q, a)
- Características mecánicas del concreto (E, μ)
- Condición del apoyo (K)

En el esfuerzo de borde, tiene más incidencia el espesor de la losa (H); por lo tanto este esfuerzo, se debe comparar con el módulo de rotura del concreto.

Análisis por fatiga.- Su objetivo es para proteger al pavimento contra la acción de los esfuerzos generados por las cargas repetidas. Para tal análisis, las cargas de los vehículos, se ubican en el centro de la losa pegadas al borde.

La fatiga en los pavimentos rígidos, es el fenómeno ocasionado por la acción reiterada de las cargas del tránsito, que generan esfuerzos de flexión con una magnitud mayor al 45% del módulo de rotura del concreto. La acumulación del fenómeno de fatiga, puede ocasionar la rotura de las losas; mientras que las cargas que generen esfuerzos menores a 45% de la magnitud del módulo de rotura, pueden repetirse indefinidamente, ya que no producen fatiga.

4.1.2. Desempeño de pavimentos de concreto.- El desempeño de pavimento puede definirse como la capacidad estructural o funcional medible a lo largo de su periodo de diseño. El público usuario le asigna valores subjetivos de acuerdo a su calidad de rodadura, seguridad, aspecto y conveniencia.

La capacidad funcional comprende:

- Calidad aceptable de rodadura.
- Adecuada fricción superficial.
- Geometría apropiada para seguridad vial.
- Apariencia (estética).

La capacidad estructural y funcional están muy relacionadas. Es así que un deterioro estructural de un pavimento se manifiesta por una disminución en su capacidad funcional. Sin embargo hay otros tipos de fallas estructurales que progresan sin que los usuarios lo noten hasta etapas muy avanzadas. También puede haber una pérdida de capacidad funcional sin que esto implique pérdida de capacidad estructural.

Fallas funcionales: También llamadas de superficie, comprende los defectos de la superficie de rodamiento debidos a la falla de la losa de concreto y no guardan relación con la

estructura de la calzada, la corrección de estas fallas se efectúa con solo regularizar la superficie y conferirle la necesaria impermeabilidad y rugosidad.

Fallas estructurales: Comprende los defectos de la superficie de rodamiento cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento, es decir de una o más de las capas constitutivas que deben resistir las cargas y sollicitaciones que impone el tránsito y el conjunto de factores climáticos regionales.

Es por eso que antes de realizar una reparación se debe conocer las fallas prematuras más comunes que se producen en los pavimentos de concreto y sus causas, para así poder determinar la forma correcta de repararlas.

4.2. Evaluación de los pavimentos de concreto

Con base en lo anterior, pasaremos a proponer un método de evaluación y tratamiento de fallas frecuentes, para que sean atendidas de manera oportuna y acertada.

El análisis de la problemática debe obedecer a un análisis de tipo ingenieril de una secuencia de procesos dirigida a la solución más cercana a lo necesario para garantizar la durabilidad de la reparación. Esta secuencia de procesos se presenta a continuación en la figura 4.4.

La determinación de las causas que producen las fallas en los pavimentos de concreto, puede ser tan simple que solo baste un reconocimiento superficial de la falla (recorrido de la obra), o tan compleja, que se requiera un examen profundo de la falla, auxiliado por pruebas de laboratorio. Las características superficiales de la falla, son generalmente indicadoras de los factores que posiblemente la causaron.

a) Recorrido de Obra

El primer paso es el recorrido de la obra que ha presentado fallas, permite tener una idea general del estado de condición del pavimento y la severidad de las mismas. Es la oportunidad para observar las características básicas de diseño y construcción, inspeccionar la condición de agrietamiento y evaluar la magnitud del problema. La magnitud del problema se refiere a si es localizado, global o mayor.

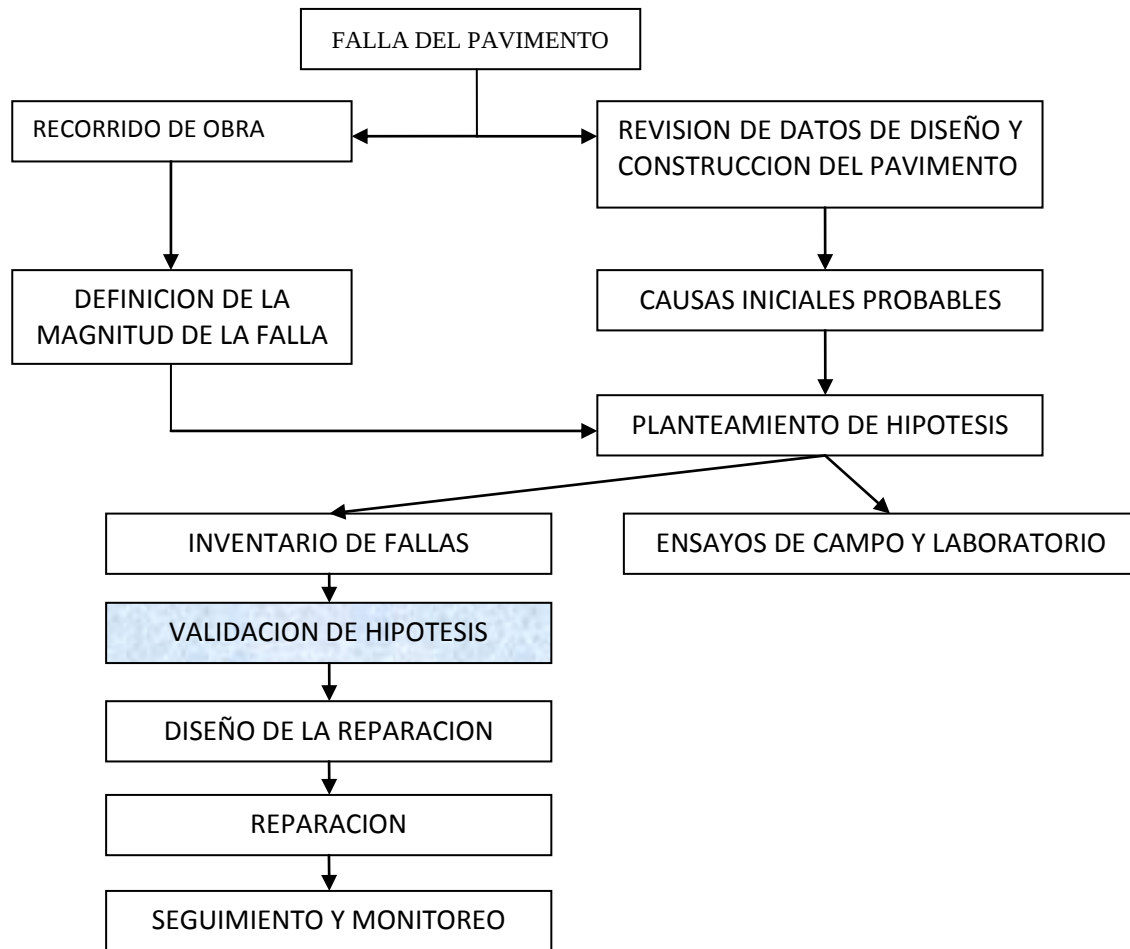


Figura 4.4 Secuencia de procesos para la evaluacion y diseño de la reparacion de un falla en pavimentos rigiudos

(Fuente: Revista del Instituto Salvadoreño de Cemento Y Concreto ISCYC N°40)



Figura 4.5 Magnitudes de fallas en un pavimento de concreto (localizada, global, mayor)

(Fuente: Revista del Instituto Salvadoreño de Cemento Y Concreto ISCYC N°40)

El tratamiento de estas fallas consiste en:

Tratamientos localizados: Cubre lo correspondiente a reparación de fisuras, fresado superficial, reparaciones a profundidad parcial y total, recuperación de soporte, recuperación de la superficie, recuperación de transferencia de carga y de reparaciones de juntas; corresponde a la reparación de las fallas más frecuentes de los pavimentos en el transcurso de su vida útil.

Tratamientos Globales: Cubre la realización de actividades generalizadas de demolición de tramos de la vía y el uso de sobrecarpetas adheridas o no adheridas.

Tratamientos mayores: Cubre lo correspondiente a reciclado y reconstrucción de pavimentos.

Este documento se concentrará en la evaluación y tratamiento de fallas localizadas con el fin de mantener y prolongar la vida útil de los pavimentos de concreto. El siguiente paso de la secuencia de procesos es la revisión de la historia del pavimento para tener elementos más completos antes de realizar recomendaciones de reparación.

b) Revisión de datos de diseño y construcción del Pavimento

En la revisión de la historia del pavimento deben consultarse como mínimo los siguientes aspectos del diseño y la construcción, a los cuales se les denomina “Causas iniciales probables”

- Características geotécnicas de las capas de soporte del pavimento de concreto
- Consideraciones de diseño del pavimento de concreto (modulación de losas, propiedades mecánicas especificadas, TPD de diseño, TPD real, factores de seguridad, criterios de diseño, vida útil).
- Diseños complementarios de drenaje y geométricos.
- Controles de calidad de la producción de los materiales.
- Controles de calidad de la construcción.
- Acción de agentes externos.
- Uso que se ha dado a la vía (incremento de cargas con respecto a las de diseño).

Con la anterior información, se plantean unas hipótesis sobre las causas más probables y será posible iniciar el proceso de inventario de fallas que servirá para el diseño de la reparación, en el que deben clasificarse de acuerdo con su forma, tamaño y severidad.

c) **Inventario de fallas**

En la clasificación e inventario de fallas del pavimento rígido se encontrarán unas más comunes presentando para cada uno de los deterioros los siguientes aspectos.

- descripción de las características más relevantes para facilitar la identificación.
- principales mecanismos que originan el deterioro.
- clasificación, en función de sus características y condiciones, de tres niveles de severidad del deterioro: baja, media y alta.
- procedimientos de medición y cuantificación.
- esquemas explicativos y fotografías que ayudan a la identificación

• **Bombeo de finos.**- el bombeo de finos de la base o subrasante se origina por movimiento vertical de la losa en juntas y fisuras bajo cargas pesadas cuando existe agua atrapada bajo el pavimento, la cual es expulsada junto con materiales a través de las juntas o grietas existentes por la presión que ejercen los vehículos que transitan por la vía, el bombeo resulta grave cuando la cantidad de material eyectado deja partes importantes de la losa, especialmente en esquinas, sin soporte, esto produce incrementos de tensiones deformaciones y finalmente rotura de la losa, depende de varios factores como el espesor de la losa, sus deflexiones y el material de base. El bombeo se puede observar como manchas a lo largo de las juntas longitudinales y transversales.

Niveles de Severidad:

- Cuando el fenómeno se manifiesta sin dejar un pozo o bache no pueden aplicarse niveles de severidad.
- La severidad de los pozos o baches es la siguiente:

Baja: cavidad entre pavimento y berma < 50 mm

Media: 50 cavidad entre pavimento y berma 150 mm

Alta: cavidad entre pavimento y berma > 150 mm

Medición:

- Establecer el número (Nº) de juntas y grietas y la longitud (m) de borde del pavimento, en que ocurre el problema, localizándolas en el sentido transversal (distancia desde el borde externo del pavimento) y la longitud (m) en que se presenta.
- En el caso de los pozos, establecer el (Nº) y localización, clasificados por nivel de severidad.

Causas posibles:

Cuando existe agua entre el pavimento y la base o ésta se encuentra cercana a la saturación, el tránsito, en especial los vehículos pesados, produce un efecto de succión y luego bombeo que erosiona material fino de la base. El fenómeno es especialmente activo cuando la transmisión de las cargas entre losas es inadecuada.

Evolucion probable: La evolucion mas probable del bombeo es: excalonamiento, grietas y fracturamientos de losas.

- **Grietas o fisuras**

Grietas de Esquina.- Grieta que origina un trozo de losa de forma triangular, al interceptar las juntas transversal y longitudinal y que forma un ángulo mayor a 45°. con la dirección del tránsito. La longitud de los lados del triángulo varía entre 300 mm y la mitad del ancho de la losa. (ver Figura). Este tipo de daño se presenta en losas de concreto simple y en placas de concreto reforzado.

Niveles de severidad:

- Baja: Grietas selladas o con abertura menor a 3mm. Escalonamiento imperceptible y bloque de la esquina esta completo.
- Media: Aberturas entre 3 – 10 mm.
- Alta: Aberturas mayores a 10 mm. Se presenta escalonamiento y el bloque de la esquina esta dividido en varias partes.

Medicion del deterioro: Se debe medir la longitud de la grieta en metros y el ancho de su abertura, reportando la cantidad de grietas de esquina presentes en cada losa para cada nivel

de severidad. Se existen grietas selladas tambien deben se medidas, estas siempre seran reportadas y tendran un nivel de severidad bajo.

Causas posibles:

- Asentamiento de la base y/o la subrasante.
- Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base o alabeo térmico.
- Sobrecarga en las esquinas.
- Deficiente transmisión de cargas entre las juntas de losas adyacentes.

Evolucion probable: Se pueden generar o incrementar los escalonamientos y producir fracturas multiples en las losas.

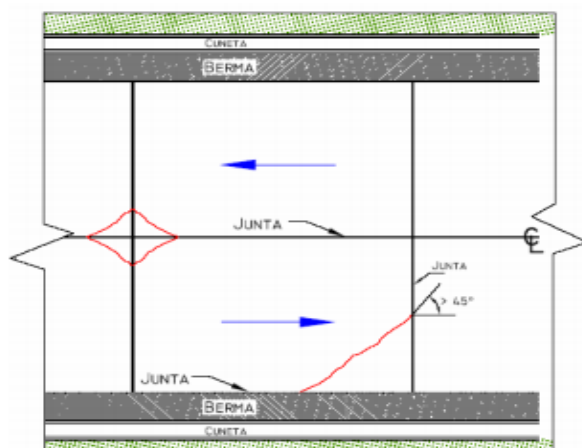


Figura 4.5 Vista en planta: Grieta de Esquina

(Fuente: Manual para la inspeccion visual para pavimentos rigidos “INVIAS”)

Grietas Longitudinales.- Grietas que son predominantemente paralelas al eje de la calzada o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa, pero la intersección se produce a una distancia (L) mucho mayor que la mitad del ancho de la losa (Figura). Este tipo de daño se predenta en todos los tipos de pavimento rígido.

Niveles de severidad:

- Baja : grietas selladas o con ancho < 3 mm, sin saltaduras escalonamiento imperceptible.
- Media : ancho grieta entre 3 - 10 mm escalonamiento < 15 mm.
- Alta : ancho mayor a 10 mm.presenta escalonamiento mucho mayor a 15 mm.

Medicion del deterioro: Se debe medir la longitud de la grieta en metro, reportando la cantidad de grietas longitudinales presentes en cada losa para cada nivel de severidad. Si existen grietas selladas tambien deben ser medidas, estas siempre seran reportadas y tendran algun nivel de severidad.

Causas posibles:

- Asentamiento de la base y/o la subrasante.
- Falta de apoyo de la losa, originado por erosion de la base o alabeo termico.
- Losa de ancho excesivo.
- Carencia de una junta longitudinal.
- Mal posicionamiento de las barras de traspaso de cargas dovelas y/o barras de anclaje.
- Aserrado tardío de la junta.
- Contraccion del concreto.

Evolucion probable: Los deterioros con mayor probabilidad de ocurrencia como consecuencia de la evolucion de las grietas longitudinales, son: Incremento de los escalonamientos y Fracturas multiples en las losas.

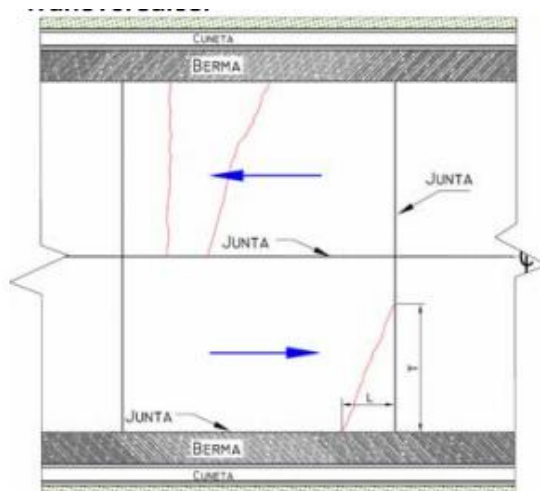


Figura 4.6 Vista en planta de las grietas longitudinales

(Fuente: Manual para la inspeccion visual para pavimentos rigidos “INVIAS”)

Grietas Transversales.- Grietas predominantemente perpendiculares al eje de la calzada. (Figura.). También pueden extenderse desde una junta transversal hasta la junta longitudinal, siempre que la intersección con la junta transversal esté a una distancia del borde (T) mayor que la mitad del ancho de la losa ($T > a/2$) y la intersección con la

junta longitudinal se encuentre a una distancia inferior que la mitad del largo de la losa (L). Este tipo de daño se presenta en todos los tipos de pavimento rígido.

Niveles de severidad:

- Baja : grietas selladas o con ancho < 3 mm, escalonamiento imperceptible.
- Media : ancho grieta entre 3 - 10 mm escalonamiento < 15 mm.
- Alta : ancho mayor a 10 mm. presenta escalonamiento mucho mayor a 6 mm.

Medición del deterioro: Se debe medir la longitud de la grieta en metro, reportando la cantidad de grietas transversales presentes en cada losa para cada nivel de severidad. Si existen grietas selladas también deben ser medidas, estas siempre serán reportadas y tendrán algún nivel de severidad.

Causas posibles:

- Asentamiento de la base y/o la subrasante.
- Losa de longitud excesiva.
- junta de contracción aserrada o formada tardíamente.
- Espesor de losa insuficiente para soportar las solicitaciones.
- Gradiente térmico que origina alabeos.
- Problemas de drenaje.
- Cargas excesivas.

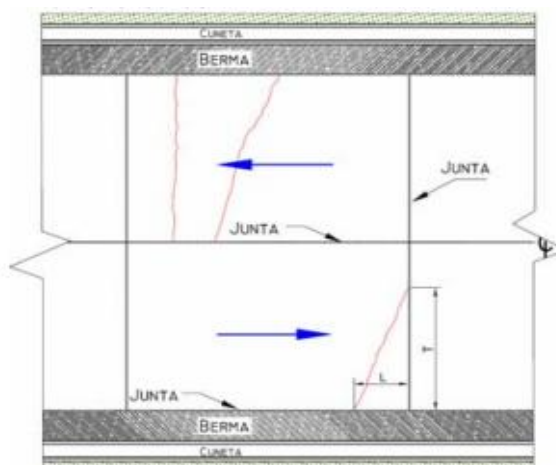


Figura 4.7 Vista en planta de grietas transversales

(Fuente: Manual para la inspección visual para pavimentos rígidos “INVIAS”)

Evolucion probable: El daño con mayor probabilidad de aparicion, como consecuencia de la evolucion de las giretas transversales son las grietas en bloque, tambien puede haber escalonamiento por la entrada de agua.

- **Desportillamiento de juntas (DPT, DPL).**- Desintegracion de las aristas de una junta (longitudinal, transversal), con perdida de trozos, que puede afectar hasta 15 cm a lado y lado de junta (figura 4.10). Este tipo de deterioro se presenta en todos los tipos de pavimento rigido con juntas.

Niveles de severidad: Se definen combinando el estado de los bloques que se forman por el fracturamiento en contacto con la junta y sus dimensiones, se clasifican de la siguiente forma.

- Baja: pequeños fracturamientos, que no se extiendan mas de 80 mm. A cada lado de la junta, dan lugar a pequeñas piezas que se mantienen bien firmes, aunque ocasionalmente algun pequeño trozo puede faltar.
- Media: las fracturas se extienden a lo largo de la junta en mas de 80 mm. A cada lado de la misma, dando origen a piezas o trozos relativamente sueltos, que pueden ser removidos; algunos o todos los trozos pueden faltar, pero su profundidad es menor de 25 mm.
- Alta: las fracturas se extienden a lo largo de la junta en mas de 80 mm a cada lado de la misma, las piezas o trozos han sido removidos por el transito y tienen una profundidad mayor de 25 mm.

Medicion del deterioro: Se toma la longitud en metros de la junta afectada por losa y se reporta la severidad del daño.

Causas posibles:

- Debilitamiento de los bordes de la junta debido a defectos constructivos.
- Desintegracion del concreto, por mala calidad del material.
- Presencia de material incompresible en la junta, el cual al expandirse genera concentracion de esfuerzos y la posterior falla ante el paso de vehiculos.
- Mal procedimiento de corte de la junta.

- Aplicación de cargas antes de conseguir la resistencia mínima recomendada del concreto.

Evolución probable: La evolución probable del desportillamiento de juntas es la entrada de agua a la base generando bombeo.

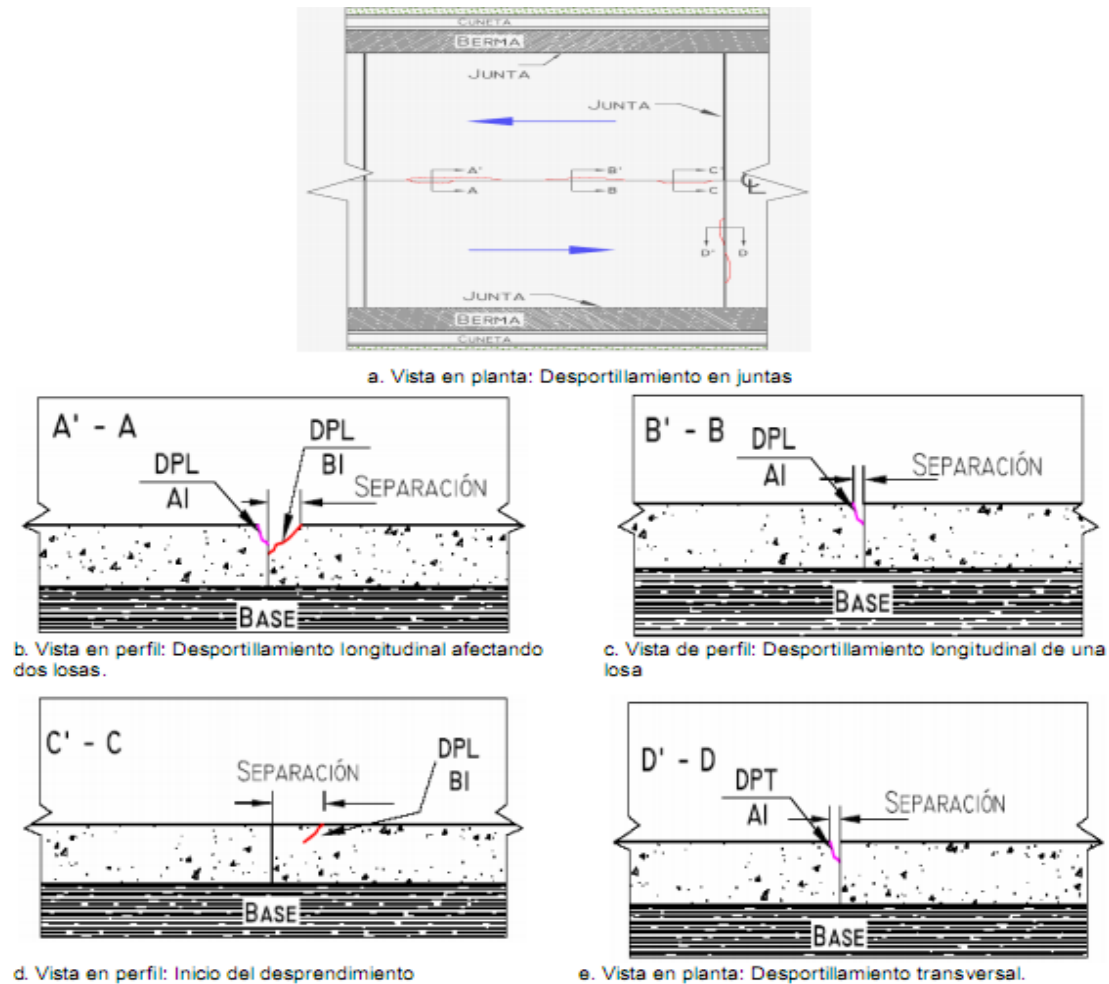


Figura 4.8 Desportillamiento

(Fuente: Manual para la inspección visual para pavimentos rígidos “INVIAS”)

- **Escalonamiento de juntas longitudinales y transversales.-** Es una falla provocada por el tránsito que corresponde a un desnivel de la losa en su junta con respecto a una losa vecina (figura).

Niveles de severidad: Teniendo en cuenta la diferencia de altura (desnivel) entre las placas adyacentes, los niveles de severidad se definen como:

- Baja desnivel menor a 5mm.
- Media: desnivel entre 5 mm y 10 mm.
- Alta desnivel mayor a 10 mm.

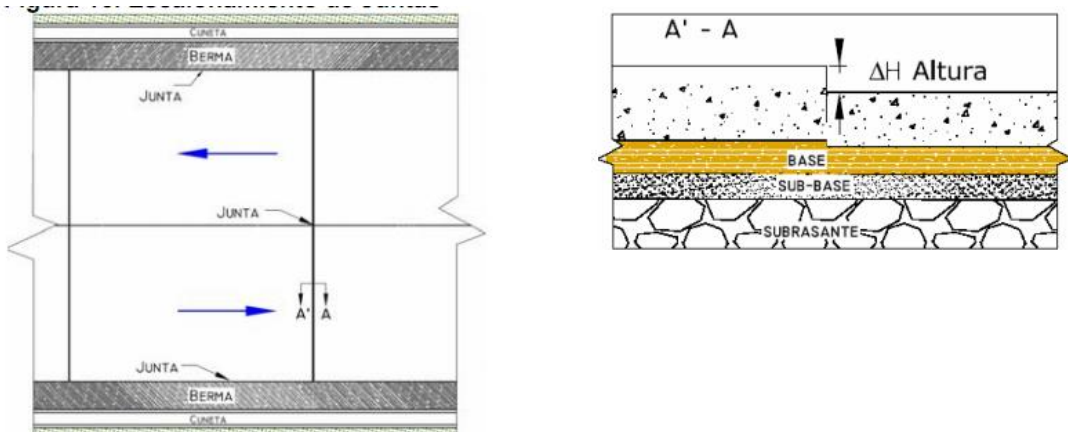
Medicion del deterioro: La medicion del escalonamiento entre juntas y/o grietas, se puede llevar a cabo de la siguiente forma:

- Si la losa a medir esta mas alta que la de refencia o contigua, registrar como escalonamiento negarivo (-); en caso contrario indique escalonamiento positivo (+).
- Definir si el desnivel se presenta en el largo o ancho de la losa y determinar su magnitud en metros, se debe tener en cuenta si el desnivel esta asociado con desportillamientos o con algun grieta definida claramente en otro tipo de daño.

Causas posibles: Las principales causas del escalonamiento entre losas, son:

- Deficiencia en el trapaso de cargas entre las losas o trozos de losas.
- Erosion de la base en las inmediaciones de la junta o grieta.
- Asentamiento deferencial de la subbase o subrasante.
- Falta de capacidad de soporte de la subrasante.

Evolucion probable: El escalonamiento de las juntas puede ocasionar fractura de la losa, si este se combina con bombeo que implica perdida del material de base.



a. Vista en planta. Escalonamiento Junta
Transversal

b. Vistas en perfil: detalle del Escalonamiento

Figura 4.9 Escalonamiento de Juntas

(Fuente: Manual para la inspeccion visual para pavimentos rigidos “INVIAS”)

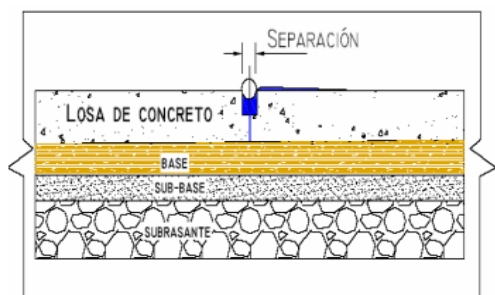
- **Deterioro del Sello (DTS – DSL).**- Desprendimiento o rompimiento del sello de las juntas longitudinales o transversales, que permite la entrada de materiales incompresibles e infiltración de agua superficial.

Se considera como deterioro del sello cualquiera de los siguientes defectos: extrusión del sello, endurecimiento, pérdida de adherencia entre el sello y la losa, pérdida parcial o total del sello e incrustación de materiales ajenos y crecimiento de vegetación (figura.) este deterioro se presenta en pavimentos de losas de concreto simple y losas de concreto reforzado.

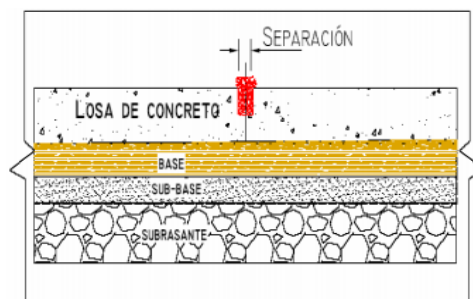
Niveles de severidad: Teniendo en cuenta la longitud de la junta que se encuentra con un sellado deficiente, se clasifica de la siguiente forma:

- Baja: longitud con deficiencia de sellado menor al 5% de la longitud de la junta y no existe riesgo de entrada de agua y/o material incompresible.
- Medio: longitud de deficiencia de sellado entre 5 y 25% de la longitud de la junta y el resto del material sellante se encuentra en condición regular.
- Alto: longitud con deficiencia de sellado mayor al 25% de la longitud de la junta, entrada de agua y/o material incompresible, el cambio y resellado debe ser inmediato.

Medición del deterioro: Se tomara la longitud en metros de la junta afectada por losa, especificando el nivel de severidad del daño. Se anotara la presencia de material incompresible, vegetación o entrada de agua.



*Desconfinamiento del sello por pérdida de adherencia
levantamiento de la tirilla de respaldo*



*b. Pérdida progresiva del sello en ausencia
de la tirilla de respaldo*

Figura 4.10 Deterioro de sello

(Fuente: Manual para la inspección visual para pavimentos rígidos “INVIAS”)

Causas posibles:

- Endurecimiento del sello: producto de la mala calidad, envejecimiento.
- Perdida de adherencia entre el sello y la losa: producto de mala calidad, sellado mal colocado, caja mal diseñada, paredes sucias en el momento de aplicar el sello.
- Perdida de sello: producto de mala calidad, procedimiento de colocacion deficiente, movimiento relativo excesivo entre losas aledañas, poca consistencia del material de sello.
- Extrusion del material de sello: exceso de sello, producto de mala calidad, procedimiento de colocacion deficiente, incremento severo de temperatura que provoca el movimiento de las losas y el ablandamiento del material, puesta en servicio de la via antes del fraguado del sello.
- Incrustacion de material incompresible: ocasionada por la cercania de bermas no pavimentadas o la caida de materiales de vehiculos que transitan por la via.
- Crecimiento de la vegeacion: humedad en la junta.

Evolucion probable: El deterioro mas probable de ocurrir debido a la evolucion de la falla de sello es el desportillamiento y el bombeo.

• **Losas Fracturadas.-** Aparecen por la union de grietas longitudinales y transversales formando bloques a lo largo de la placa. Este grupo tambien comprende las grietas en “Y” (figura.). aunque se presenta en todos los tipos de pavimentos rigidos, es mas frecuente que se presente en losas de concreto simple y reforzado.

Niveles de severidad: Siempre se considera un deterioro de severidad alta.

Medicion del deterioro: Se mide el area afectada en metros cuadrados de cada losa y por severidad.

Causas posibles: Las grietas en bloque, pueden ser causada por la repeticion de cargas pesadas (fatiga de concreto), el equivocado diseño estructural y las condiciones de soporte deficiente. Es la evolucion final del proceso de fisuracion, que comienza formando una malla mas o menos cerrada; el transito y la continua flexion de las losas aceleran la subdivision en bloques mas pequeños, favoreciendo el desportillamiento de sus bordes.

Pueden presentar diversas formas y aspectos, pero con mayor frecuencia son delimitados por una junta y una fisura.

Evolucion probable: La evolucion mas probable de las grietas en bloque es el deterioro total de la estructura y/o hundimientos.

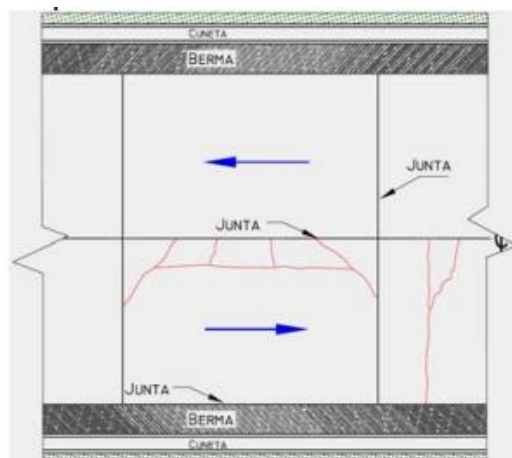


Figura 4.11 Características de las grietas en bloque

(Fuente: Manual para la inspeccion visual para pavimentos rigidos “INVIAS”)

En el inventario de fallas se deben medir sus dimensiones para posteriormente asignar un nivel de severidad que determinará el procedimiento de reparación más apropiado.

d) Ensayos de campo y laboratorio

Con el fin de validar o rechazar las hipótesis existentes sobre las fallas, se deberán hacer algunas comprobaciones en campo y el laboratorio, que pueden variar, desde inspeccionar juntas y extraer núcleos, hasta la realización de apiques y monitoreos de la subrasante de la vía, la verificación de la calidad de los materiales y los procesos constructivos. Muchas veces no se encontrarán procedimientos normalizados para estas acciones y ensayos, por lo cual el criterio de ingeniería se debe hacer presente para realizar un análisis de la información obtenida.

Ensayos en campo.- Incluye trabajos como la extraccion de nucleos; muestreos de materiales; ensayos de deflexion; rugosidad; resistencia al deslizamiento y drenaje superficial

Ensayos de laboratorio.- obtencion de resitencia de materiales; permeabilidad; composicion; densidad y granulometria.

e) **Validación de Hipótesis <<identificación de causas>>**

Generalmente, una falla en un pavimento rígido es ocasionada por la combinación de varias causas de diseño, construcción y servicio, que generan efectos principales, secundarios y terciarios, cuando no se realiza el mantenimiento a tiempo. Por ejemplo, una losa fracturada puede haber tenido la evolución presentada en la figura.

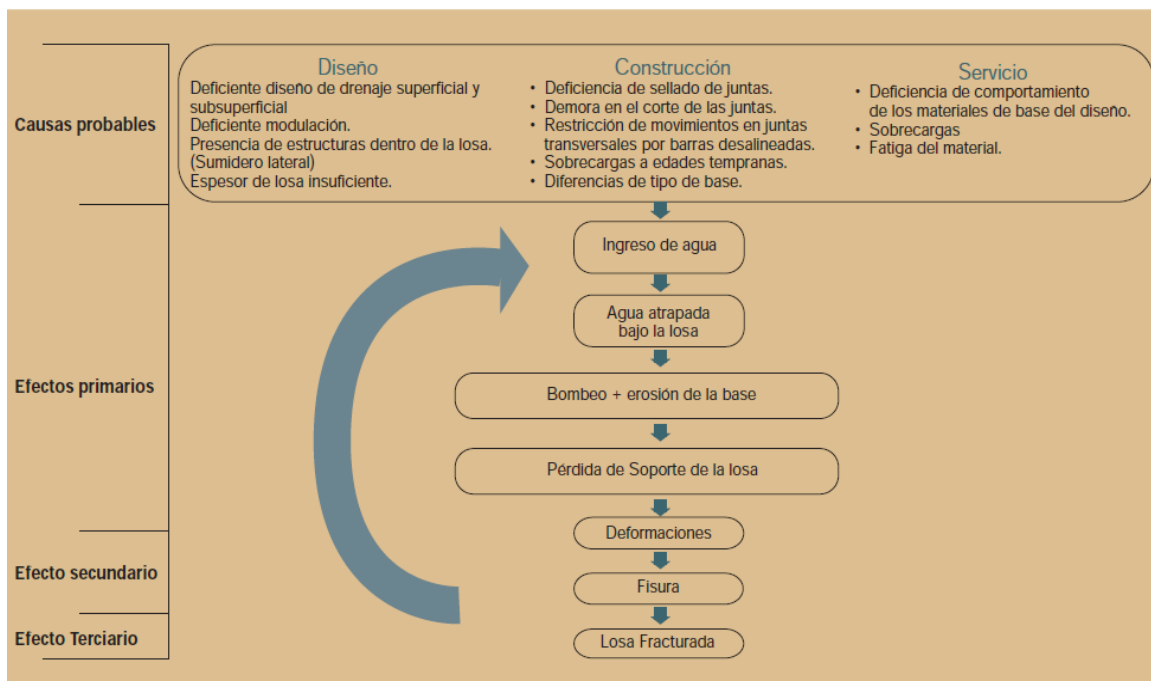


Figura 4.12 Diagrama de causa efecto para generacion de losa fracturada

(Fuente: Revista del Instituto Salvadoreño de Cemento Y Concreto ISCYC N°40)

Por lo anterior, es vital en la evaluación de las fallas, establecer con la mayor precisión posible la edad a la cual se presentaron, ya sea en las etapas de diseño, de construcción o de puesta en servicio del pavimento, para poder descartar algunas de las causas probables y validar las hipótesis, para así emprender con acierto el diseño de la reparación de forma económicamente eficiente, incluyendo la corrección de todas las causas y sus defectos o reflejos.

A partir de lo expuesto y del análisis de algunos daños en varios pavimentos de concreto contruidos recientemente en nuestro país, se pueden resumir a continuación los factores más frecuentes que causan las fallas en los pavimentos rígidos:

Causas relacionadas con el diseño

- Desconocimiento geotécnico de la subrasante.
- Diseño de los espesores de las capas del pavimento inferior a lo requerido.
- Deficientes diseños de drenaje.
- Desconocimiento sobre el comportamiento de juntas.
- Deficientes esquemas de modulación y refuerzo de losas.
- Deficientes diseños geométricos.

Causas relacionadas con la construcción

- Falta de limpieza de las cavidades para los sellos de las juntas.
- Deficiente fijación y calidad de barras de transferencia de carga.
- Cambio de materiales especificados.
- Uso de los carriles a edades tempranas.

Causas relacionadas con los materiales

- Baja resistencia a diferentes acciones mecánicas.
- Desconocimiento del comportamiento de los materiales.
- Poca compatibilidad con el medio.

Lo anterior se genera por el desconocimiento de lo que se hace, por estudios insuficientes y presupuestos limitados para la investigación y desarrollo de tecnología.

f) Diseño de la Reparación

Realizar la reparación de la falla sin atender todas las causas no resolverá el problema, por lo cual, el diseño de la reparación del pavimento debe incluir la evaluación integral de las causas y sus defectos para entrar a corregir las deficiencias y ofrecer la solución óptima al problema.

Para los pavimentos de concreto existen las siguientes acciones de reparación que pueden ser aplicadas y combinadas en el Diseño de la Reparación dependiendo del tipo de falla:

- Reparación de las losas de concreto en espesor total o parcial con concreto hidráulico.

- Resellado de juntas y fisuras.

También existen otros procedimientos de reparación y son:

- Retrocolocado de barras pasajuntas (restauración de la transferencia de carga).
- Estabilización de losas.
- Fresado de diamante.

Estas alternativas deben ser evaluadas técnica y económicamente con base en la solución de todas las causas; de lo contrario, la reparación será ineficaz y acarreará costos adicionales en el futuro.

g) Reparación

Para programar las intervenciones de mantenimiento a ejecutar en un determinado tramo o sector de una carretera específica, la recolección de información debe cubrir la longitud total de los sectores o tramos donde se pretende realizar los trabajos. Los antecedentes recogidos se procesan en gabinete, sin requerir de ninguna fase intermedia. Los tipos de deterioros detectados conjuntamente con los grados de severidad que presentan los mismos, definen los trabajos de mantenimiento que corresponde ejecutar, en tanto que las mediciones realizadas, agrupadas y sumadas por tipo de trabajo de mantenimiento, entregan cantidades de obras.

En la tabla, se encuentran algunas recomendaciones para el tratamiento de las fallas localizadas de pavimentos de concreto, en algunos casos unas son efectos de otras y por tanto, deben ser involucradas en el diseño de la reparación del pavimento; son una guía para clasificar y acometer acciones en este tipo de deterioros y deben ser validadas según las condiciones específicas de cada pavimento.

Las acciones recomendadas en esta tabla merecen especial cuidado para la durabilidad de la reparación y obedecen a procedimientos especializados en cuanto al uso de herramientas, materiales y equipos para garantizar su buen comportamiento.

Tabla 4.3 Reparaciones requeridas en fallas localizadas de pavimentos de concreto

Tipo de falla	Nivel de severidad	Reparaciones Recomendadas
Bombeo	Baja: losas sin escalonamientos	Evacuar el agua y evitar el ingreso de la misma, (Resellado y recuperar soporte)
	Media: con fisuras o grietas	Reparacion a profundidad total y evitar el ingreso de agua
	Alta: con losas fracturadas	Reparacion a profundidad total y mejoramiento del drenaje
Grietas (transversal, longitudinal y de esquina)	Baja: ancho <3 mm	Resellado de fisuras
	Media: ancho 3mm – 10 mm	Retrocolocado de barras pasajuntas o Reparacion en espesor total
	Alta: ancho > 10 mm	Reparacion en espesor total resitucion de capas estructurales con materiales adecuados
Descascaramiento en juntas	Baja: long. Total de uno o mas descascaramientos <30 cm y anchos menores a 1 cm.	Retiro de fragmentos y resellar
	Media: Long. Total de 1 o mas descascaramientos <60 cm con anchos entre 1 – 10 cm	Reparacion a profundidad parcial
	Alta: Long. Total de 1 o mas descascaramientos >60 cm con fragmentos de concreto desprendidos	Reparacion a profundidad parcial de la losa a profundidad total
Escalonamientos o deslocamientos	Baja: escalonamiento < 5mm	Fresado diamante de la carpera de rodadura de concreto y sellado
	Media: escalonamiento de 5 a 10mm	Estabilizacion de losas
	Alta: escalonamiento >10 mm	Reparacion a espesor total de losas afectadas y mejorar transferencia de cargas
Deterioro del sellador de juntas	Baja: deficiencia de sellado menor al 5% de la longitud de la junta y no existe riesgo de entrada de agua y/o material incompresible.	Resellado de juntas garantizando la adherencia
	Media: deficiencia de sellado entre 5 y 25% de la longitud de la junta y el resto del material sellante se encuentra en condicion regular	Resellar y monitorear para detectar posibles signos de bombeo si es así estabilizar losas
	Alta: deficiencia de sellado mayor al 25% de la longitud de la junta, entrada de agua y/o material incompresible	Resellar junta después de realizar acciones correctivas como reparacion en espesor parcial y total o estabilizacion de losas
Losa Fracturada (grietas en bloque)	Siempre de severidad Alta	Reparacion en espesor total, restitucion de la base o subrasante y verificar o mejorar el drenaje

(Fuente: Elaboracion Propia)

4.3. Procedimiento de ejecucion de las metodologias de reparacion

Los procedimientos para la reparación de pavimentos de losas de concreto hidráulico han evolucionado y se han perfeccionado continuamente. Debido a los avances tecnológicos en la materia, principalmente manifestado en la utilización de materiales perfeccionados personal especialmente capacitado, equipo específicamente diseñado y la implementación de técnicas innovadoras de diseño y evaluación.

Previamente a la aplicación de cualquiera de las metodologías de reparación en pavimentos de concreto se deben de cumplir las siguientes precondiciones:

- Se han seleccionado las zonas a reparar
- Se han establecido las zonas a reparar.
- Especificaciones establecidas.
- Se permite ajustes a cantidades y tipos de reparaciones.

4.3.1. Reparación de las losas de concreto en espesor total o parcial con concreto hidráulico.

Los pavimentos de concreto hidráulico con un porcentaje limitado de deterioros deben ser reparados con concreto a fin de restablecer o mejorar las características de comodidad y seguridad de las superficie de rodadura, además de restituir la capacidad estructural del pavimento y no desmejorar su aspecto.

Las mezclas de concreto hidráulico de cemento portland que se utilizaran para los trabajos de reparación de las losas, deberán cumplir con los requisitos establecidos en cuanto a la construcción de pavimentos, en el apartado correspondiente a superficies de rodamiento para pavimentos rígidos. Para los casos de reparación de losas a espesor total, las capas de la estructura del pavimento incluyendo la de rodamiento se renovaran como mínimo reproduciendo el procedimiento y las condiciones originales de construcción.

4.3.1.1. Reparación de pavimentos de losas de concreto en espesor total

La reparación de espesor completo implica la remoción y reemplazo de una porción de la losa en todo su espesor, con el propósito de restaurar áreas con un alto grado de deterioro o preparar el pavimento para una sobrecarpeta. Las reparaciones de espesor completo pueden

mejorar las condiciones del rodado y de integridad estructural, así como extender la vida útil del pavimento.

Las reparaciones en todo el espesor para el caso de pavimentos de concreto simple o concreto armado con juntas, deben ser de concreto y deberán preverse pasadores o barras de unión a los efectos de asegurar una buena transferencia de cargas a través de la junta reparada. Para el caso de pavimentos de concreto armado continuo, las reparaciones en todo el espesor del mismo deben de ser de tal manera que aseguren la continuidad en la armadura mediante la soldadura o empalme con la armadura existente.

Descripción.- Las losas que requieren reparaciones de espesor completo son aquellas en las cuales el objetivo es restaurar la integridad estructural del pavimento. La operación tiene por objetivo reemplazar una parte deteriorada del pavimento de hormigón, la que deben tener una longitud suficiente para que el equipo de perforación de las barras de transferencia de carga (pasajuntas) trabaje sin dificultades, garantizando que las barras queden suficientemente separadas para evitar concentración de tensiones excesivas, por lo tanto se recomienda extenderlas a todo el ancho de la losa que está reparando. Además estas como mínimo debe abarcar el ancho de una pista y tener no menos de 1,8 m. así se establecen las dimensiones mínimas para la reparación: Longitud ≥ 6 ft (1.8 m), Ancho ≥ 12 ft (3.6 m)

Parte importante del éxito del procedimiento que se describe depende de dos consideraciones; la zona por reemplazar debe aislarse completamente del resto del pavimento antes de comenzar a retirarla, y debe asegurarse una transmisión de cargas adecuada cuando la zona por reemplazar queda delimitada por una o más juntas de contracción, y tomar las medidas para que exista una unión monolítica entre el hormigón de reemplazo y el pavimento antiguo no afectado, en los demás casos.

Factores Críticos:

- Tiempo de Reparación
- Identificación apropiada de áreas a reparar
- Calidad de construcción
- Diseño apropiado de transferencia de cargas

Es esencial que la evaluación preliminar del estado del pavimento o la investigación detallada se haga pocos días antes de los comienzos de los trabajos, para determinar con exactitud las áreas que requieren ser reparadas.

Demarcado de las áreas a reparar.- Antes de comenzar cualquier trabajo se deben definir las áreas que requieren reparación para esto se deben tener en cuenta los siguientes aspectos al momento de marcar los bordes de la reparación:

La longitud mínima ($L_{d_{min}}$) en sentido longitudinal sera un tercio ($1/3$) de la longitud de la losa. En caso de ser necesario, la longitud de la reparación se ajustara según lo siguiente.

- Si los deterioros que motivan la reparación sobrepasan ambos lados del tercio central de la losa, esta sera restaurada completamente.
- Si los deterioros que motivan la demolición se ubican dentro del tercio de la losa mas proximo a una junta transversal o dentro del tercio central, como se muestra en la figura 4.14. todo el tercio afectado sera restaurado.

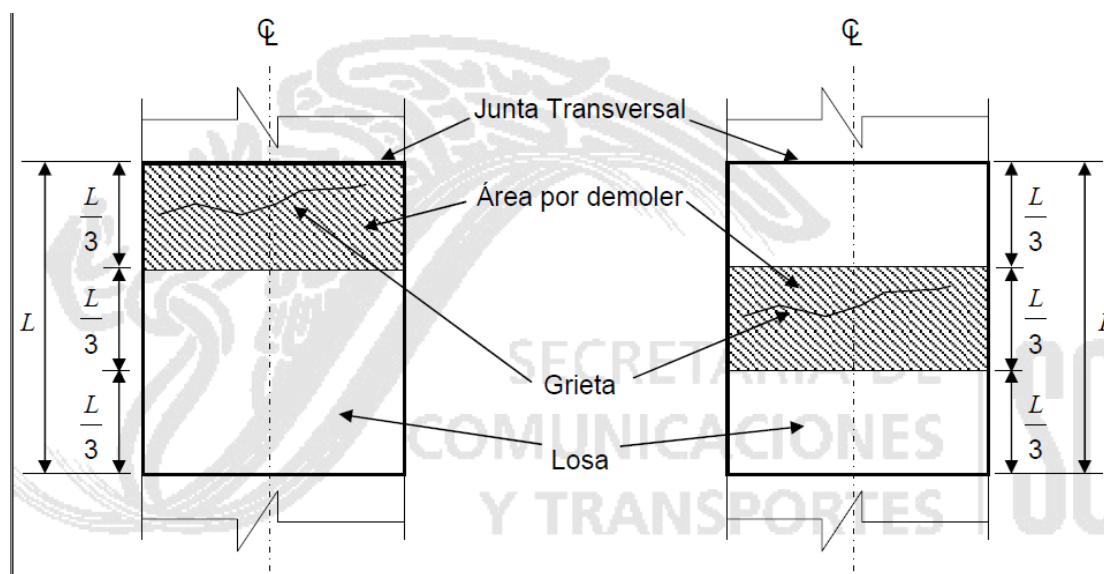


Figura 4.13 Demarcación normal del área a reparar

(fuente: Normas de conservación de carreteras “secretaría de comunicaciones y transporte”)

- Si uno de los límites de la longitud mínima ($L_{d_{min}}$) dista de una junta transversal menos de un tercio ($1/3$) de la longitud de la losa, la longitud de reparación (L_d) se extendera hasta la junta transversal tal como muestra la figura 4.15.
- Si, en el caso de losas con refuerzo continuo, la longitud mínima ($L_{d_{min}}$) no abarca todos los deterioros, la longitud de reparación (L_d) se extendera quince centímetros mas alla de los deterioros, a ambos lados como se observa en la figura 4.16.

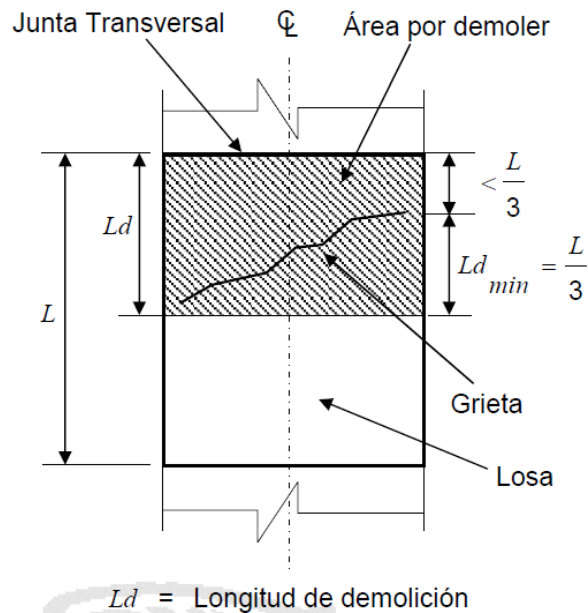


Figura 4.14 *Extension del area por reparar hasta la junta longitudinal*

(fuente: Normas de conservacion de carreteras “secretaria de comunicaciones y transporte”)

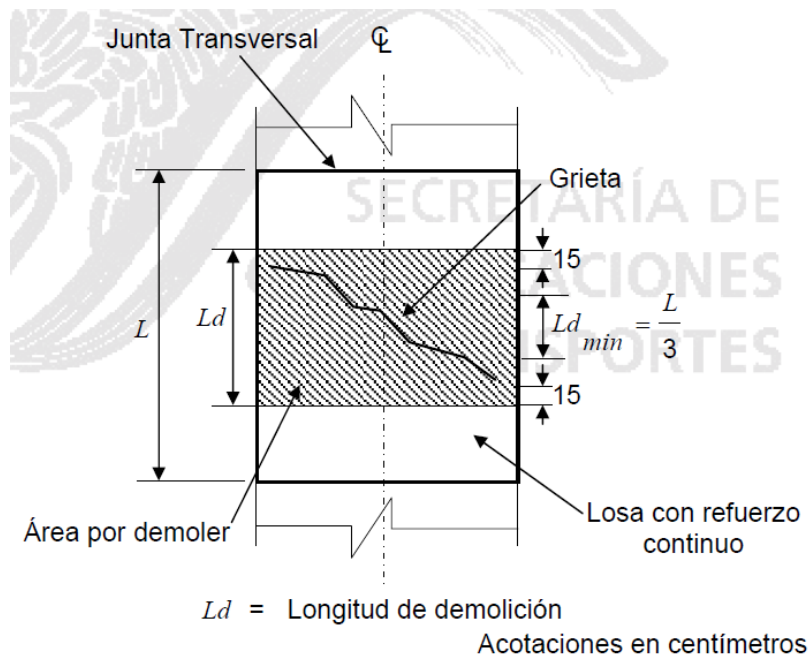


Figura 4.15 *Extension del area por reparar en losas de refuerzo continuo*

(fuente: Normas de conservacion de carreteras “secretaria de comunicaciones y transporte”)

- Si los deterioros que motivan la reparacion afectan a mas de una losa continua longitudinalmente, se demarcaran las partes afectadas de cada losa, siguiendo individualmente los criterios anteriormente expuestos.

Ademas se puede recomendar lo siguiente:

- Reparaciones mayores a 15 ft (4.6 m) requieren una junta intermedia.
- Reparaciones no deben estar más cercanas que 6 ft (1.8 m)
- Extender las reparaciones 1 ft (0.3 m) más allá de las juntas
- Fisuras ubicadas 10 ft (3 m) o más de una junta pueden repararse aisladamente.

Para el demarcado de las area de remoción se debe efectuar un reconocimiento para detrerminar dichas areas antes del comienzo de los trabajos. La ubicacion de los lugares que deberan ser removidos se debe marcar con pintura en la superficie del pavimento.



Foto 4.1 Demarcado de las area de remoción

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Aislamiento del area a remover.- Antes de retirar el concreto deteriorado, el area se va a remover se debe aislar del concreto adyacente, del carril y de la berma. Esto minimizara el daño al material circundante durante las operaciones de remocion.

- **El aislamiento del carril y de la berma adyacente,** se lo realiza mediante la colocacion de una formaleta que facilitara la remocion del concreto, minimizando el daño a la berma, para esto se realiza un corte con una sierra, sobre la berma hasta alcanzar los 100 mm, a lo largo del area deteriorada en caso de que exista berma de concreto la cara de la berma sera usada como formaleta para la colocacion del concreto de reparacion. Un corte limpio facilitara la remoción del concreto izandolo minimizando el daño a la berma.

La junta longitudinal en el centro del pavimento se debe cortar en todo el espesor de la losa, a lo largo de la junta existente. La profundidad de corte debe asegurar el corte de las barras de amarre existentes.

- **Aislamiento transversal,** se lo realiza mediante cortes con sierra la cantidad y profundidad de los cortes dependen del metodo de remocion (izado o levantamiento, demolicion o rotura) y el tipo de pared de la junta deseada (suave, aspera), en general el aislamiento transversal del area de reparacion del pavimento existente se logra mediante dos cortes con sierra, hasta una profundidad equivalente a 1/4 del espesor de la losa y a unos 150 mm más afuera de la línea que delimita la zona por reemplazar, enseguida, por las líneas interiores se cortará con sierra a profundidad total, dejando bordes verticales limpios.

Es muy recomendable que el corte de la sierra este a mas de 150 mm más afuera de la línea que delimita la zona propuesta, debido al daño y a las microgrietas que produce la sierra en el concreto adyacente.

Cuando la zona dañada incluya una junta de contracción se procurará dejarla en el centro del área por remover y en todo caso, entre los extremos de las barras de acero de amarre entre losas antiguas y el nuevo hormigón.

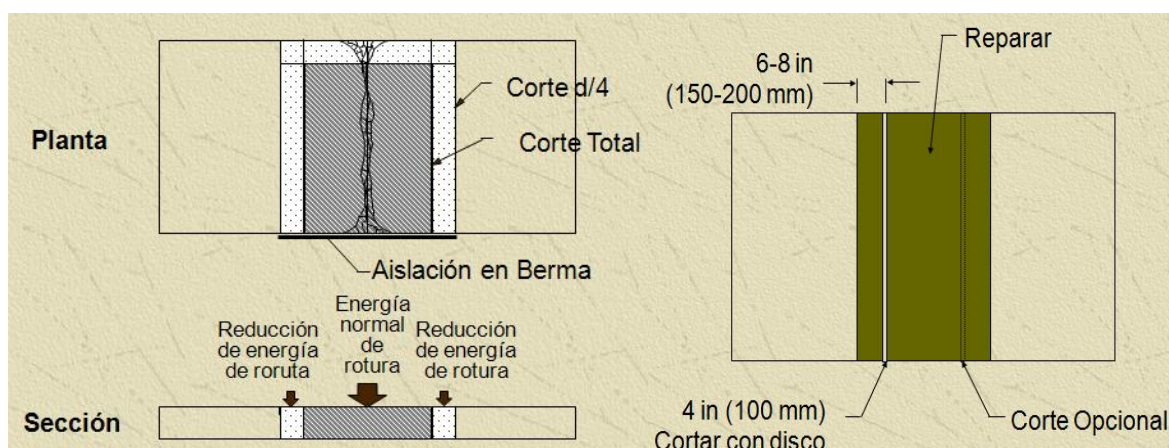


Figura 4.16 Aislamiento del área a remover

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

En el caso de concretos con con armadura de refuerzo se deben de realizar lo siguiente;

- Dos cortes para cada borde transversal.
- Corte interno a profundidad completa, en nincun caso, la sierra cortara el refuerzo de acero, cortando los limites internos en toda la profundidad mediante martillo-cinzel.
- Corte a profundidad parcial en los limites transversales exteriores hasta alcanzar 3 a 5 cm (1 ½” a 2”).
- Salvar los segmentos del acero antiguo picando alrededor.
- Colocar acero nuevo:

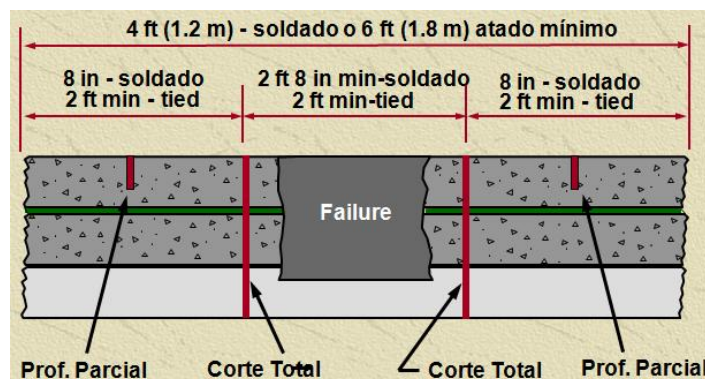


Figura 4.17 Ubicación de cortes para losas con armadura de refuerzo

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Es recomendable el uso de cortadoras de diamante para realizar los cortes que aislen las areas a reparar ademas que se hagan de forma en que la base de la sierra llegue al borde y se recomienda proveer cortes de alivio de presión dentro del parche si el corte lo requiere.

En epocas calientes el equipo se puede trabar cuando se esta cortando en sentido transversal, en esos casos se recomienda trabajar en la noche, cuando las temperaturas son mas bajas y el concreto se encuentra contraído.

Remocion del hormigón.- Una vez completamente aislada el área por reemplazar se procederá a retirarla, siempre que sea posible se recomienda que el concreto se retire por izado, debido a que esta disminuye el daño al concreto circundante y a la base, ademas de que resulta en un mayor rendimiento y menos mano de obra.

- **Remocion de la losa por izado.-** Este metodo se utiliza cuando se trata de pavimentos que no tienen refuerzo continuo y en aquellos que se haya podido realizar cortes en todo el perimetro del fragmento de la losa que se vaya a retirar y en todo su espesor, fuera del area de las pasajuntas y las barras de amarre, así una vez aislada el area de remocion, el concreto deteriorado se hiza verticalmente desde su posicion en el pavimento, siendo necesario realizar perforaciones que trapasen la losa, y mendiante pernos, que permitan amarrar cadenas y haci mediante el debido equipo pesado como una grua o un cargador frontal, izar los pedazos de losa, teniendo cuidado de no dañar la base ni la subrasante para finalmente limpiar la zona con herramientas manuales.



Foto 4.2 Remocion por izado

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

En algunos casos, el materia que está sendo izado se puede romper, produciendo daños o decascaramientos en la parte superior de las losas adyacentes. Cuando esto sucede se puede requerir de un corte de sierra secundario con el objetivo de evitar un daño mayor.

La remocion del concreto por izado minimizara el daño al concreto circundante y a la base. Las paredes de las juntas transversales seran lisas y no requeriran de mayor trabajo antes de las perforaciones con taladro para la instalacion de los dispositivos de transferencia de carga. En general cuando izando el concreto se puede retirar mas losas y colocar mas concreto por hombre que cuando se quiebra o demuele el concreto debido a que se necesita menos mano de obra.

- **Remocion de la losa por demolicion.-** La experiencia ha demostrado que la remocion de la losa por demolicion o rotura, daña significativamente la base y en consecuencia, se necesita una reparacion mas grande de la base que la que se hace cuando se izan las losas, este metodo resulta practico cuando las losas estan muy deterioradas no pudiendo removerlas por izado. Para estos casos se puede demoler el concreto, del area que se va a remover, con la ayuda de un martillo neumatico (jack hammer), un martillo de caida libre (drop hammer), o un ariere hidraulico (hidraulic ram), retirando luego el material mediante uso de una retroexcavadora o de herramientas manuales.

Debiendo tener consideraciones especiales para el corte del concreto con sierra cuando el pavimento va a ser demolido ya sea con ariete hidraulico o martillo de caída libre proporcionando un amortiguador para absorber el impacto proveniente del equipo para quebrar el pavimento que dañara el concreto circundante.

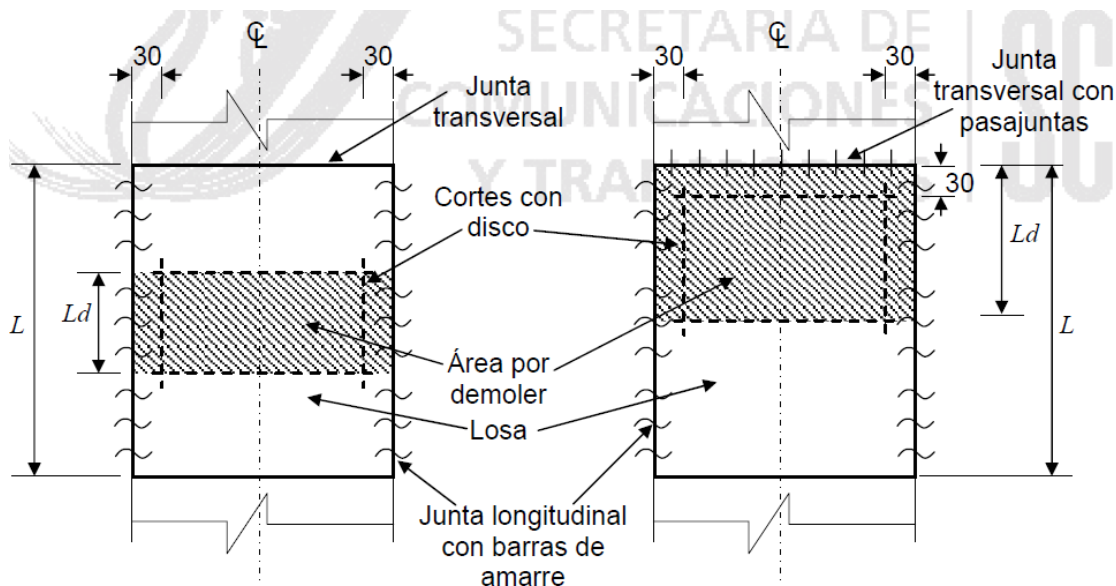


Figura 4.18 Cortes para facilitar la demolición del concreto

(fuente: Normas de conservación de carreteras “Secretaría de comunicaciones y transporte”)

Para proteger durante la demolición las zonas no dañadas, con la ayuda de una cortadora de disco se realizarán cortes perpendiculares a la superficie, en los límites de la longitud de demolición en el sentido longitudinal de la carretera y otros paralelos a las juntas longitudinales con barras de amarre, a 30 cm de estas, como se observa en la figura 4.26. si el área de demolición llega hasta una junta transversal con pasajuntas, se hará un corte paralelo a la junta, a 30 cm de esta como se muestra en la misma figura, salvo que sea necesario demoler del otro lado de la junta, en cuyo caso no se requerirá este corte. Los cortes tendrán una profundidad mínima de cinco (5) cm; a un tercio ($1/3$) del espesor de la losa. Es necesario extender los cortes aproximadamente cinco (5) cm, más allá de los límites marcados en las esquinas, a fin de que el corte tenga la profundidad indicada en todo el perímetro del área de reparación.

Finalizado los cortes se procederá a la demolición de las losas de concreto, esta debe comenzar en la región central del área a remover, dentro de los cortes de la sierra interiores.

En los ultimos 30 cm, la remocion del concreto se hara manualmente con un martillo de 5 a 7 kg. de masa y cincel, de tal forma que no se dañe el concreto mas alla de los limites de dicha area, los bordes de la misma, ni las barras de amarre, en su caso. Si mas del 10 % del acero de refuerzo presenta corrosion y daños visibles, los limites de la reparacion se extenderan hasta que se rectifique en la longitud de empalme requerida.

Las paredes de la demolicion presentaran superficies libres de materiales sueltos en la losa. Las pasajuntas y barras de amarre quedaran libres de residuos.

Trabajos en la subbase o base.- Si durante la remocion del concreto se ha deteriorado significativamente la base, esta se debe limpiar y recompackar retirando cualquier material suelto, de forma que cumpla con las especificaciones. Si se presentara material blando en la base este se debe retirar y restituir con material adecuado. Ademas se debe de reparar cualquier problema de drenaje localizado.



Foto 4.3 Preparado del area a reparar

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Cuando sea necesario, se excavara el material de la base y de la subrasante y se reemplazar con un capa de agregado triturado. La profundidad maxima de remocion sera de 30.5 cm (12”) por debajo de la profundidad inicial de remocion, tomando precauciones para evitar daños en las capas inferiores de las losas de concreto adyacentes.

Proveer transferencia de cargas.- Sin importar el equipo que se use para la remocion , o la existencia de una pared con superficie aspera para que se de la transferencia de cargas a traves de los agregados, es esencial que las juntas transversales del area reparada se

refuercen con barras, asegurando el comportamiento adecuado en cuanto a la transferencia de cargas. Su uso se exceptua solo en parches en pavimentos de bajo volumen.

- **Pavimentos para trafico pesado.-** Se ha demostrado que las dovelas son los medios mas efectivos para desarrollar transferencia de carga a traves de las juntas en areas reparadas. Sin embargo con malas practicas de construccion, sumado a una cantidad y tamaño inadecuado de dovelas se ha producido un rapido escalonamiento de las juntas de las reparaciones y un mal comportamiento de estas.

Para la perforacion de orificos en los cuales se instalaran las barras pasajuntas se debe de considerar que el lugar en donde se vayan a instalar no existan grietas u otras obstrucciones, ademas que el diametro del orificion por perforar dependera del calibre de la funda de lapasajunta y su material de fijaacion, asi pues si se utiliza lechadas de cemento como material de fijacion se perforaran huecos de 5 a 6 mlimetro mayores que el diametro exterior de la funda, mientras que para materiales epoxicos se perforaran huecos de 2 milimetros mayores que dicho diametro.



Foto 4.4 Perforaciones para dovelas mediante taladros montados en grupo

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Mantener la alineacion adecuada, en plano horizontal y vertical, es muy importante para permitir los movimientos libres de expansion y contraccion de las areas reparadas. Siendo una practica recomendada el perforar con taladros agrupados y no con taladros de mano debido a la posibilidad de que las perforaciones presenten desalineamientos.

El numero de dovelas recomendado es por lo menos cuatro o cinco dovelas en las zonas en las que van a pasar las llantas de los vehiculos, esto debido a que una rueda que pasa por

sobre la junta producen tensiones de flexion en cada dovela, llegando a ser tan altas que ampliaran los agujeros que alojan a las dovelas y luego el concreto se podria quebrar.

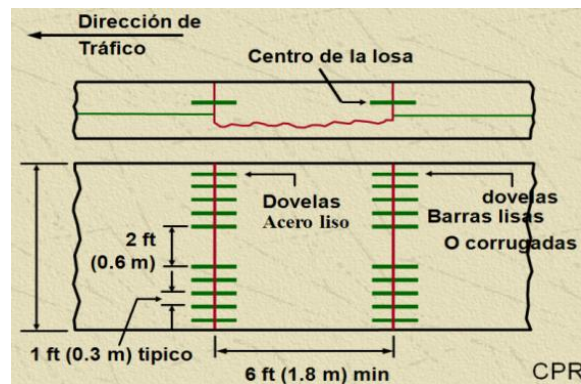


Figura 4.19 Distribucion de dovelas en la reparacion
(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Ajustar la ubicación de huecos para :

- Fisuras
- Acero embebido
- Soldaduras mayores

El diametro recomendado para las dovelas, es de 30 mm como minimo y de 38 mm como maximo.

El diámetro para lechada

- ✓ Lechada en base a cemento - use $\text{Diám. Barra} + 0.25 \text{ in (6 mm)}$
- ✓ Epóxico - use $\text{Diám. Barra} + 0.1 \text{ in (2 mm)}$

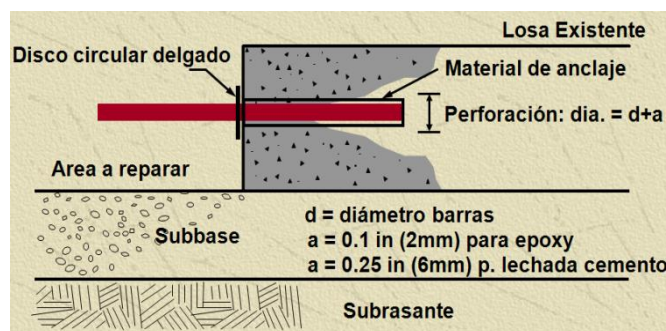


Figura 4.20 Vista de perfil. Detalle de colocacion de dovelas.
(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Las dovelas no deben ser insertadas en agujeros sucios y sin preparar. Por lo tanto estos deben ser limpiados mediante aire comprimido par expulsar todo el polvo o residuos, verificndo constantemente el funcionameinto del compresor evitrando la contaminacion por aceite y agua.



Foto 4.5 Limpieza de agujeros con aire comprimido
(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Despues de limpiar los agujeros y antes de insercion de las dovelas se debe hacer en la parte posterior del agujero una aplicación de pintura epoxica o de un mortero que no se contraiga. Introduciendolo hasta el fondo del agujero y forzando hacia adelante y girando la dovela durante la insercion esto asegura que el materia de anclaje cubra toda la dovela a lo largo.

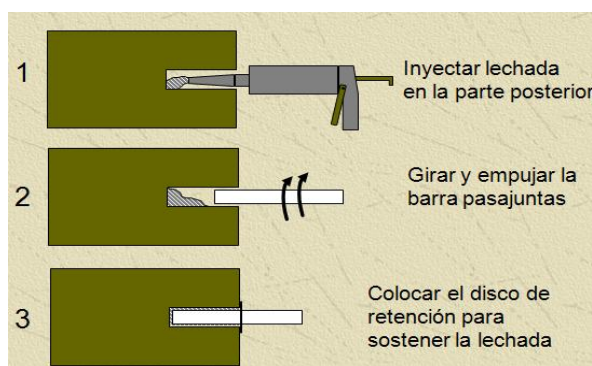


Figura 4.21 Colocacion de pasajuntas

(fuente: Normas de conservacion de carreteras “secretaria de comunicaciones y transporte”)

Usar un disco de retencion de palastico, para mantener el material dentro del agujero, durante la insercion de la dovela asegurando que la barra de refuerzo este completamente

rodeada por el mortero o el material epoxico de anclaje, ya que este no puede salir por la parte frontal del agujero.



Foto 4.6 Area sujeta a reparacion una vez reposicionadas las dovelas

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

- **Pavimentos de bajo trafico.-** En pavimentos para bajos volúmenes de tráfico y con pocos camiones pesados, como las áreas residenciales y calles locales se pueden prescindir de dovelas en las reparaciones de profundizada total, sin que se comprometa el comportamiento de la reparación, pero se deben seguir ciertos lineamientos. El tamaño de la reparación estará determinado en función del trabajo que se pudiera hacer debajo del pavimento. Recomendando que el área removida se extienda por lo menos 200 mm más allá de la excavación planificada, para generar un borde limpio en la subrasante existente para que no se altere la misma, en caso de producirse se necesitaría hacer un relleno en el vacío bajo el pavimento existente, lo que eventualmente, podría conducir a la pérdida de soporte y a un problema de bombeo en la junta de reparación.

No se debe construir la junta de reparación a una distancia menor que 500 mm de una junta existente, es preferible usar estas.

La profundidad de los cortes de la sierra, para hacer los bordes, no deben ser de profundidad total, debiendo extenderse hasta la profundidad de la futura caja sellada de la junta o máximo $\frac{1}{3}$ del espesor de la losa.

Las paredes de las juntas del parche deben quedar ásperas e irregulares proporcionando el masco de trabazón del agregado para la transferencia de carga.

Es muy importante que el astillado por debajo del corte de sierra se extienda en forma casi vertical y nunca se socave la pared existente de la junta ya que ocasionaria una mala transferencia y un aumento del potencial de asentamiento.

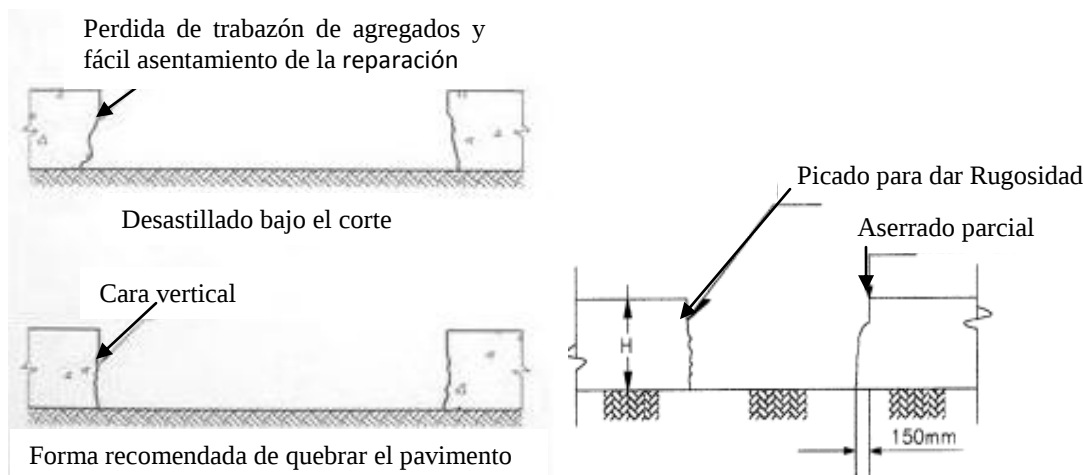


Figura 4.22 Paredes de juntas en parches para bajo volumen de trafico, recomendado para garantizar la transferencia de cargas

(Fuente: Diseño construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto)

Relleno y preparacion adecuada del relleno de excavacion bajo el area de reparacion con el objeto de evitar futuros asentamientos. No se recomienda el uso del suelo extraido durante la excavacion inicial, especialmente si es un suelo de grano fino, recomendandose el uso de un suelo tratado con cemento.

Reemplazo del acero de refuerzo.- En los pavimentos de losas de concreto con juntas.- el acero de refuerzo se reemplazara completamente.

En el caso de pavimentos de losas de concreto con refuerzo continuo.- se uniran barras de acero a los segmentos que queden después de remover el concreto. La union de los segmentos de acero nuevos con los existentes, se hara mediante sujetadores mecanicos o bien uniones soldadas. Ademas se proveera el soporte para prevenir el doblado del acero mediante silletas. en el caso que se requiera unir el acero de reemplazo. El acero de refuerzo existente se cortara dejando por lo menos una longitud de 20 cm (8") de acero expuesto si debiera sujetarse el acero de reemplazo se cortara el acero existente dejando por lo menos la longitud de los empalmes a la que se sumaran 5cm (2").

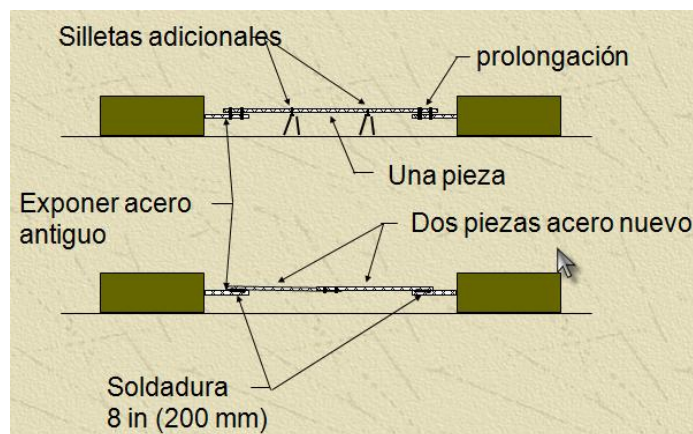
La longitud de empalme requerida para distintos tamaños de barras de acero de refuerzo se indican en la tabla siguiente:

Tabla 4.4 Longitud de empalme del acero de refuerzo

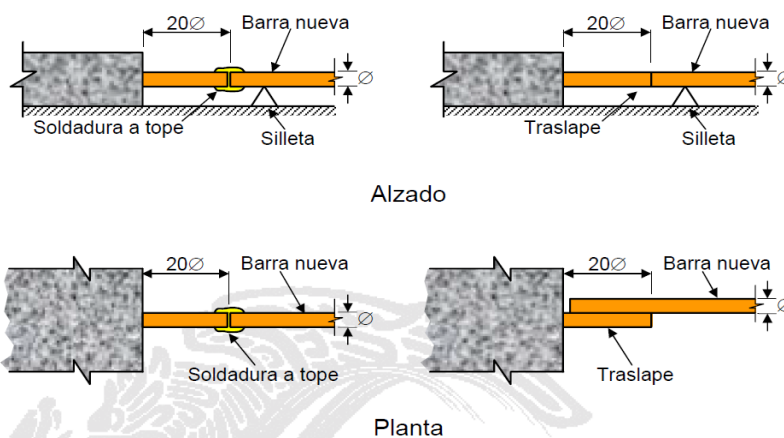
Tamaño de la barra	Longitud de empalme
Nº 4	38.1 cm(15")
Nº 5	45.7 cm(18")
Nº 6	55.9 cm (22")

Fuente: periódico oficial del estado de baja california N° 46

(Normas tecnicas de proyecto y construccion para obras de vialidades del estado de baja california)



a) Según el IBCH



b) Según Secretaria de comunicaciones y transporte

Figura 4.23 Uniones de barras de acero de refuerzo continuo

Preparacion de juntas longitudinales.- Cuando se repongan losas mayores de cuatro coma cinco (4.5) metros en el sentido longitudinal o dos o mas losas contiguas, se repondran las barras de amarre con la losas adyacentes. Perforando a lo largo de la junta longitudinal a cada setenta y cinco (75) cm, o con la separacion establecida. Sujetando las barras de amarre de la misma manera que las pasajuntas pero sin fundas, utilizando barras corrugadas del numero diez (10).

Colocado y terminado del hormigón.- Inmediatamente antes de la reposicion de las losas, la superficie sobre la que se colocara el concreto estara exenta de materias extrañas, polvo, grasa o encharcamientos, sin irregularidades, tratados satisfactoriamente.

Cada bacheo se vaciará en una operación continua, a la profundidad total. Las formaleatas laterales se traslaparán a los extremos de la losa existente. Se sujetarán firmemente para que no se muevan cuando se coloque el hormigón. Para colocar las formaleatas para el bacheo, se podrá excavar los lados adyacentes hasta obtener un ancho que no exceda los treinta (30) centímetros. Una vez retiradas las formaleatas, el área del lado excavado se rellenará y se restaurará a su condición anterior.

En la mayoría de los casos la apertura al tráfico es un aspecto crítico, en concreto se debe vaciar tan pronto como sea posible, después de que las dovelas estén instaladas y la subbase preparada. Para obtener reparaciones de buena calidad son críticas la colocación, incluyendo la vibración para la consolidación, y el acabado adecuado del concreto.

Las superficies de las reparaciones se deben terminar con una regla vibratoria, para dar a los mismos niveles de la superficie existente. La experiencia ha demostrado que las mejores reparaciones generalmente han sido aquellas en las que el acabado se hace usando una regla vibratoria paralela a la línea central del pavimento.

En reposiciones menores de 3m en el sentido longitudinal, para el enrasado se utilizará una regla vibratoria, la cual será desplazada por el pavimento en dirección transversal a las juntas longitudinales, de tal forma que se apoye en la superficie de las losas adyacentes, como se muestra en la figura siguiente.

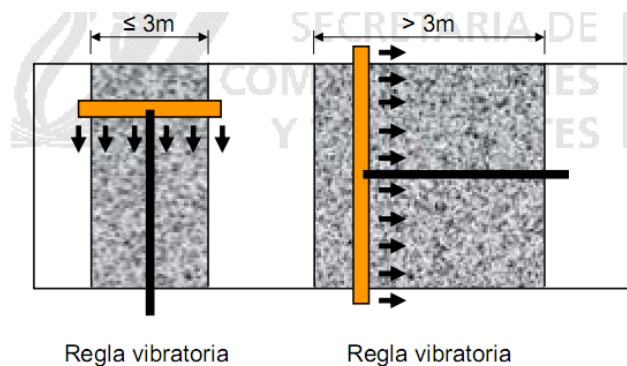


Figura 4.24 Dirección de enrase y terminado de la superficie
(fuente: Normas de conservación de carreteras “secretaría de comunicaciones y transporte”)

Una vez colocado y enrasado el concreto hidráulico y antes de que endurezca, se procede a texturizar la superficie repuesta con un acabado igual a la del pavimento circundante con el objeto de asegurar que los vehículos circulen sobre estos igual que sobre el pavimento existente. Esto se podrá hacer pasando sobre su superficie la rastra de texturizado y la texturizadora, o bien, mediante el método de denuado químico, que consiste en rociar un retardante de fraguado sobre la superficie del concreto fresco y, después de que la masa de concreto ha endurecido, aplicar un cepillado energético con un dispositivo de cerdas metálicas para eliminar el mortero de la superficie de las losas.



Foto 4.7 Texturizado, acabado similar al del pavimento existente

(Fuente: Curso de restauración de pavimentos rígidos del IBCH)

Recomendaciones para el colocado y terminado del hormigón:

- Siempre que sea posible, el concreto hidráulico se colocara en el área de la reposición desde los vehículos de transporte o mezclado.

- Distribuir el concreto uniformemente mediante palas, sin arrastrarlo, sin provocar segregación.
- Evitar paleo excesivo.
- Evitar el uso de agua adicional para trabajabilidad.
- Vibrar uniformemente en todo el volumen de la losa, utilizando vibradores mecánicos.
- Asegurar vibración adecuada cerca de los ejes de la reparación.
- Emplear reglas vibratorias para enrasar la superficie del concreto.
- Compactar el concreto mediante una Vibración vertical (vibradores manuales), cuidando de no arrastrar por la mezcla, a fin de impedir la generación de huecos y pérdida de aire.
- Mejores resultados con regla vibratoria.
- Evitar un sobre-acabado.
- Igualar nivel de superficie y textura al del pavimento existente.



Foto 4.8 Vaciado desde vehiculo de transporte y distribucion Mediante paleo

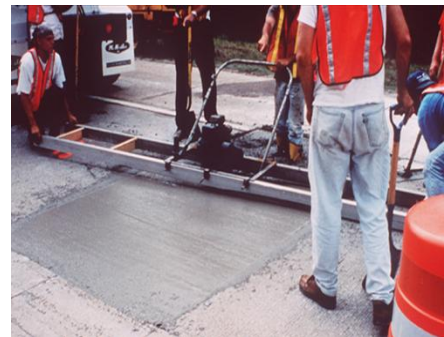


Foto 4.9 Enrasado con reglas vibratorias

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Curado y apertura al trafico.- Cuando se ha terminado el vaciado y el texturizado del concreto se debe proceder a aplicar un compuesto de curado pigmentado, cuando hay que abrir rapidamente al trafico el pavimento reparado, se pueden poner cubiertas de aislamiento encima de ellos durante el curado, las cuales aumentan en forma importante la temperatura del concreto acelerando la ganancia de resistencia.



Foto 4.10 Curado con cubiertas de asilamiento



Foto 4.11 Curado con compuesto pigmentado

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Consideraciones:

- Aplicar compuesto de curado uniformemente
- Pigmento es útil para revisar la cobertura
- Colchones aislantes para:
 - ✓ Acelerar ganancia de resistencia
 - ✓ Temperaturas Frías
- Colocar polietilieno entre la reparación y la colchoneta

Tabla 4.5

Tiempos de curado en funcion al tipo de cemento	
Cementos puzolánicos	2- 4 hr
Cementos Sulfo-aluminosos	2- 4 hr
Tipo III con acelerador	4- 6 hr
Tipo I con acelerador	6- 8 hr
Tipo III con reductor de agua	2-24 hr
Tipo I	24-72 hr

Fuente: curso de restauracion IBCH

Sellar las juntas.- El ultimo paso en una buena reparacion de pavimentos de concreto en todo su espesor consiste en hacer la caja para alojar el material de sello en juntas tanto

longitudinales como transversales en las losas repuestas. Se ha demostrado que las cajas de las juntas adecuadamente formadas, o aserradas, disminuyen en forma importante la cantidad de descascaramientos en las juntas de las reparaciones y la infiltración de agua.

Algunas recomendaciones:

- La profundidad de la caja tenga 50 mm como mínimo para evitar puntos de concentración de esfuerzos en la pared superior de la superficie, reduciendo de esta manera el potencial para el descascaramiento.
- Se debe diseñar el ancho y la profundidad de la caja (factor de forma) teniendo en cuenta la separación de las juntas y el tipo de sello.
- Sellar la junta longitudinal para reducir la posibilidad de introducción de materiales incompresibles y de agua.
- Insertar en la junta longitudinal una lámina incompresible, como ser de fibra, para prevenir la adherencia de los concretos de la reparación con los circundantes y así evitar posibles descascaramientos.

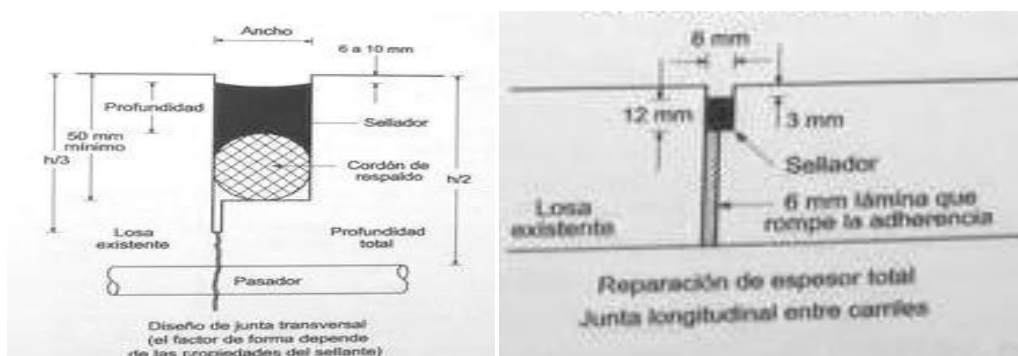


Figura 4.25 Diseño de cajas de juntas transversales y longitudinales.



Foto 4.12 Reparación de pavimentos de losas de concreto en espesor total terminada.

(Fuente: Curso de restauración de pavimentos rígidos del IBCH)

4.3.1.2. Reparación en espesor parcial.- La operación se refiere a la reparación de juntas de pavimentos de hormigón, de contracción y longitudinales, que presentan saltaduras en las aristas (descascamiento), o medio de la losa a lo largo de las juntas y grietas longitudinales, que afectan sólo la parte superior del hormigón, entendiéndose como tales las que alcanzan hasta un tercio del espesor de la losa.

La saltadura de juntas crea una superficie muy irregular y acelera el deterioro general del pavimento, generando una circulación áspera, por lo que es necesario repararlas. La técnica que se incluye en esta operación es muy eficaz y más económica que las reparaciones en todo el espesor, debido a que casi siempre el descascamiento es una falla localizada y por lo tanto demanda procedimientos de reparación localizados. La reparación de estas fallas es necesaria para mejorar la circulación, impedir un deterioro posterior y proporcionar bordes adecuados para que las juntas y grietas puedan ser selladas correctamente. Sin embargo, el éxito de su aplicación depende de las limitaciones y condicionantes que se describen en el procedimiento de trabajo.

La mayoría de los descascamientos de las juntas se produce por la introducción de materiales incompresibles dentro de las juntas y grietas transversales no selladas; esto ocurre cuando las juntas o grietas transversales se abren mientras las temperaturas bajan, y una vez se incrementa la temperatura la losa se va expandiendo y los materiales incompresibles evitan este movimiento. El descascamiento se puede producir en la parte superior o en la inferior, de la junta.

Bordes de reparación.- Primeramente se debe establecer toda la zona deteriorada, la que muchas veces es efectivamente algo mayor que lo que aparenta desde la superficie. Normalmente la profundidad que debe removerse varía entre 25 y 100 mm, dependiendo ello del nivel al cual se encuentre hormigón en buenas condiciones, lo que se puede constatar golpeando con un martillo o una barra de acero, arrastrando una cadena y/o, mejor aún, extrayendo un testigo del hormigón. La auscultación con un martillo o una barra de acero se basa en el tipo de sonido de la respuesta; si suena metálico significa que el hormigón se encuentra en buenas condiciones, si es apagado o suena a hueco, el hormigón se encuentra deteriorado. Para asegurarse que se removerá toda el área afectada, ésta debe extenderse hasta unos 3 a 4 in (75 a 100 mm), dentro del hormigón en buenas condiciones.

Los límites de las áreas que se van a reparar se deben pintar definiendo áreas cuadradas o rectangulares, ya que las áreas irregulares pueden causar el desarrollo de grietas en el concreto utilizado en la reparación. Dichas áreas tendrán una longitud mayor a 12 in (300 mm) y un ancho mayor a 4 in (100 mm).

Cuando se presenten áreas que necesiten arreglo y están a menos de 2 pies (600 mm) de distancia, se recomienda que se integren en una sola área, con el fin de reducir los costos y proporcionar una apariencia más agradable y también es recomendable reparar la junta completa si tiene más de dos parches.



Foto 4.13 Identificación de áreas deterioradas



Foto 4.14 Marcado de bordes

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

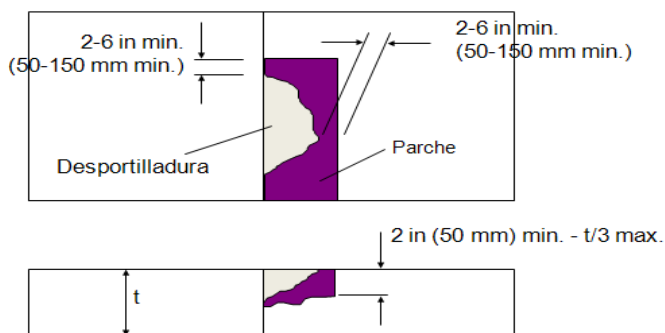


Figura 4.26 Definiendo bordes a reparar

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Remocion.- El concreto descascarado o deteriorado se puede remover por aserrado o cortado y cincelado o picado, o por un proceso de fresado.

a) Aserrado o cortado y cincelado o picado: Para esta tecnica se debe efectuar, un corte con una sierra alrededor del perimetro del area a reparar. Esto proporcionara una pared vertical en los bordes de la reparacion y dara la profundidad suficiente para otorgar

integridad al parche. El corte debe tener una profundidad mínima de 50 mm. Pudiendo realizar adicionalmente cortes, dentro del área de reparación para facilitar la remoción por cincelado.

Se debe remover la superficie del parche con herramientas neumáticas ligeras hasta que quede expuesto el concreto sano. Es importante que se usen herramientas de tamaño adecuado. El uso de martillo neumático demasiado grande causará daños y fracturas en el concreto más allá de la profundidad realmente necesaria para llegar hasta el material en buen estado, para evitar esto se recomienda que el tamaño máximo permitido de martillo neumático para ser usado en el cincelado de las reparaciones de profundidad parcial sea de 15 a 30 lb (7 a 13.5 kg), nunca se debe usar herramientas pesadas que puedan dañar el hormigón, se recomienda el uso de martillos con punta plana no así los de punta aguda. El fondo de la zona removida debe quedar irregular y muy rugosa, no debiendo exponerse las barras pasajuntas.

Si al excavar, lo que desde la superficie parece únicamente una saltadura de la junta, se detecta que el hormigón débil alcanza hasta una profundidad mayor que un tercio del espesor, la operación debe suspenderse, y se procederá a una reparación en todo el espesor.

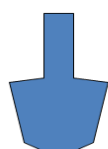


Foto 4.15 Aserrado

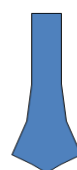


Foto 4.16 Cincelado

(Fuente: Curso de restauración de pavimentos rígidos del IBCH)



Punta Plana



Punta aguda

Figura 4.27 Martillos para el picado

(Fuente: Curso de restauración de pavimentos rígidos del IBCH)

b) Fresado: La remoción del concreto descascarado o deteriorado mediante el fresado en frío es especialmente efectiva cuando la reparación se extiende a todo el ancho del carril o a la mayor parte de él. Para esto se requiere de un equipo de fresado en frío con puntas de carburo preferiblemente con alta potencia, ancho de cabeza fresadora entre 12-18 in (300- 450 mm), y ruedas no orugas. Las máquinas de fresado deben estar equipadas con un aparato para detenerse a una profundidad preestablecida con el objeto de evitar remociones excesivas y un posible daño a las barras de acero, si las hubiera.

Después de hacer el fresado, el fondo del área de reparación se debe inspeccionar por resonancia para asegurar que todo el material en mal estado se haya removido. Cualquier restante en mal estado se debe soltar con cincel, también se debe tener en cuenta la posibilidad de que se necesite hacer una reparación en todo el espesor.

El fresado puede ejecutarse en forma perpendicular o paralelo al eje del pavimento, el primero de ellos se recomienda cuando se van a reparar descascaramientos a lo largo de toda una junta. Para descascaramientos pequeños, cualquier dirección en que se hace el fresado es buena.



Foto 4.17 Máquina de Fresado

(Fuente: Curso de restauración de pavimentos rígidos del IBCH)

Cuando se hace el fresado las paredes no quedan verticales y las experiencias indican que el concreto delgado, o en forma de cuña a lo largo del perímetro de la reparación, tiene tendencia a desprenderse.

Precauciones especiales para asegurar el éxito de la reparación: Deben tenerse en consideración, fundamentalmente, las condicionantes y limitantes que se indican a continuación:

- Frecuentemente, cuando un parche de este tipo queda en contacto con una losa adyacente se originan nuevas saltaduras en la junta, debido a las tensiones que aquélla le transmite. Se debe prevenir colocando una faja delgada de plástico, una tablilla impregnada en asfalto u otro elemento que separe el hormigón antiguo del nuevo.
- Aun cuando una junta de contracción se puede aserrar después de reparada con esta técnica, lo más seguro es formarla mientras el hormigón se encuentra fresco.
- En los parches que limiten con la berma debe utilizarse un moldaje que impida que parte del hormigón fluya hacia ese lugar, lo que crearía una unión que restringiría el movimiento de la losa.
- Puesto que normalmente los parches presentan una gran superficie en relación al volumen por rellenar, la humedad se pierde con rapidez, por lo que el sistema de curado por utilizar debe ser el adecuado para esta situación.

Limitaciones.- En ocasiones, lo que parece ser un descascaramiento en la superficie en realidad se extiende en toda la profundidad de la losa. Si el concreto en mal estado se extiende en toda la profundidad de la losa o en mas de un tercio de su espesor, las reparaciones de profundiad parcial no deben continuar en ese sitio y se debe marcar el area y hacer allí una reparacion de todo el espesor del pavimento.

Tambien se deben considerar las reparaciones de profuncidad total cuando el concreto se daña en mas de 1/3 de la profundidad de la losa durante el cincelado o si se encuentran barras de transferencia de cargas durante el proceso de remocion. Bajo ninguna circunstancia el material de reparacion de profundidad parcial se debe apoyar en las barras de traspaso u otro refuerzo importante.

Limpieza.- Una vez removido el concreto deteriorado se deben de limpiar las caras expuestas, con un chorro de arena a presion para dejarlas libres de particulas sueltas, aceite, polvo, restos de concreto asphaltico y otros contaminantes antes de proceder a la reparacion. Dejando una superficie aspera y limpia que ayudara a proporcionar una buena adherencia.

Todos los residuos de arena se deben remover usando un chorro de aire a presion por unos instantes antes de la colocacion del adherente. Se debe de revisar el equipo de aire a presion para que este no desprenda aceite, debido a que el aceite rociado con el aire contaminara las

paredes del parche e impedira la adherencia y el buen comportamiento de la reparacion, siendo una practica sencilla para verificar esta situacion el colocar una tela seca sobre la boquilla, y dejar salir poco aire e inspeccionando la tela. Luego de efectuada la limpieza, con aire a presion, de la superficie del parche esta queda lista para la colocacion del material de reparacion.



Foto 4.18 Limpieza con chorro de arena a presion

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Otro aspecto importante es el asegurar que la superficie del concreto antiguo sea impermeable para evitar la infiltracion del agua del concreto nuevo al antiguo, esto se logra recubriendo la superficie de contacto con una lechada de relacion 1:1 de agua , cemento hidraulico.



Foto 4.19 Trabajo preliminar completo y parche listo para la colocacion y acabado

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Preparacion de juntas.- Las reparaciones de profundidad parcial adyacentes a las juntas transversales o al las longitudinales, como tambien a las bermas, requieren de preparativos de construccion especiales.

a) Juntas longitudinales.- En caso de se efectue una reparacion de profundidad parcial contra una junta longitudinal, el concreto de la reparacion no se debe adherir al concreto del carril adyacente. Si se produce la adherencia el alabeo, o el movimiento diferencial, de las losas puede causar descascaramientos en el parche. La eliminacion de la adherencia se puede lograr ya sea mediante un inserto compresible, o colocando una tira delgada de polietileno a lo largo de la junta antes de colocar el material de parche.

b) Juntas transversales y grietas.- Las reparaciones adyacentes a las juntas transversales o grietas activas que penetran en toda la profundidad de la losa requieren que se use un inserto compresible, para romper la adherencia, para volver a formar la junta o grieta. Los materiales mas usados para este proposito son la, madera aglomerada impregnada con asfalto o tiras de polietileno.

Los inhibidores de adherencia formaran una pared uniforme contra la cual la junta se puede sellar adecuadamente, y tambien aislara el parche de la losa adyacente. La nueva junta o grieta se debe hacer con el mismo ancho de la junta o grieta existente.

La experiencia da constancia de que no se debe de colocar el material del parche contra la losa adyacente, pues cuando se produce la expansion del pavimento, la fuerza expansiva de la losa adyacente se ejercera contra el material del parche en vez de la pared total de la junta, esto se denomina apoyo puntual y causaria fallas por desprendimientos de agregados o por esfuerzos de compresion puntuales, como se observa en la figura. Para evitar el apoyo puntual, se debe insertar un material compresible en la junta existente antes de que se coloque cualquier material dentro del parche.

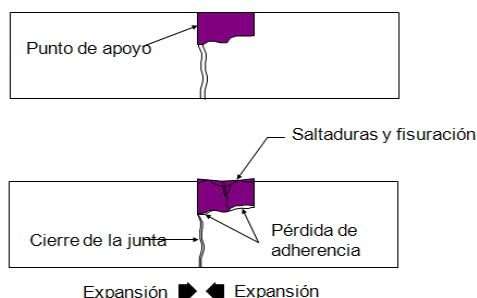


Figura 4.28 Desprendimiento en un parche



Foto 4.20 Inserto compresible en la junta debido a un apoyo puntual

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

El material compresible se debe meter en la junta existente por debajo de la profundidad de la reparación, lo cual se facilita si se hace un corte de sierra adicional en la junta a una profundidad de tres centímetros por debajo del fondo del parche, también se recomienda que la inserción del material compresible se extienda lateralmente por lo menos 80 mm más allá de los límites preparados del parche.

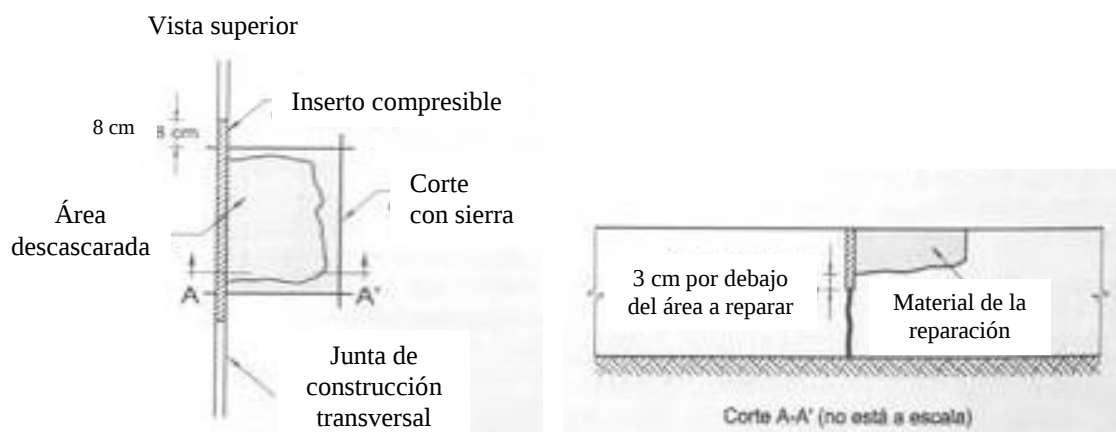


Figura 4.29 Colocación recomendada del material compresible en la junta

(Fuente: Diseño construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto “ICPC”)

Junta con la berma.- Al efectuar una reparación de profundidad parcial a lo largo de la junta del carril con la berma, el borde del parche se debe moldear. Esto requerirá de la colocación de una pieza delgada de madera aglomerada, o de polietileno, a lo largo del borde de la losa, pareja con la superficie y ligeramente más abajo que la profundidad del parche. Si se permite que el material de reparación penetre en la berma, se pueden restringir los movimientos longitudinales ocasionando daños a la reparación o a la berma.

Materiales para la reparación

Mezclas de concreto de alta resistencia inicial.- El concreto de alta resistencia inicial, se hace normalmente con cemento tipo III, y se especifica que desarrolle resistencial que sobrepasen los 21 MPa en menos de 24 horas. Esto se hace, cuando se requiere dar la reparación al servicio rápido (cuatro horas). Cuando se use este tipo de concreto también se debe especificar un adherente epoxico. El concreto no se debe colocar hasta que el epoxico se ponga viscoso.

Mezclas de concreto de fraguado normal.- El concreto de fraguado normal se puede usar cuando el material del parche se puede proteger del tráfico por 24 horas o más. El mortero de arena cemento usado para la adherencia del parche debe estar compuesto de una parte de cemento portland por una parte de arena por volumen, con la suficiente agua para producir un mortero con una consistencia cremosa. El concreto se debe colocar en el parche antes que se seque el mortero. Pero si el mortero se seca antes de colocar el concreto de la reparación, se debe retirar por medio de un chorro de arena. Este tipo de concreto no se deben colocar cuando la temperatura sea inferior a los 13°C puede que se necesite un periodo de curado más prolongado o se necesite curar con láminas de plástico.

Materiales de resistencia rápida patentados.- Cuando se seleccionan materiales patentados de fraguado rápido para hacer el parche, es importante que estos se usen de acuerdo con las recomendaciones del fabricante. Esto incluye la adherencia, la colocación, el curado y el tiempo requerido antes de dar al servicio las reparaciones. Es importante cumplir con los rangos de temperatura recomendados para la aplicación. Algunos de estos materiales son muy sensibles a la temperatura y a los procedimientos constructivos.

Morteros de resina epoxica y concreto epoxico.- los diseños de mezclas de mortero epoxico y concreto epoxico se deben evaluar con cuidado en el laboratorio antes de su uso en gran escala. El catalizador de la resina epoxica se debe acondicionar antes del mezclado. Los componentes epoxicos se deben mezclar cumpliendo al pie de la letra las recomendaciones del fabricante antes de que se adicione el agregado. El material se debe mezclar en un equipo adecuado hasta que quede homogéneo. Para evitar pérdidas del material es importante que se mezclen todas con la cantidad de material que se va a usar en una hora. Si el material mezclado comienza a desarrollar un calor excesivo, no se debe usar y se deberá descartar. Dependiendo de las recomendaciones para el material, puede que se necesite una primera capa de epoxico mezclado.

Colocación del material de reparación (Hormigonado)

a) Colocación del adherente.- Cuando se necesite un agente adhesivo que mejore la adherencia con el pavimento existente. Lechada de cemento-arena y Agentes Epóxicos se han usado con éxito, el material se debe aplicar en una capa delgada y pareja. Los mejores resultados se obtienen cuando el material se frota sobre la superficie con una brocha de

cerda dura, el material debe cubrir toda el area incluyendo las paredes del parche y debe superponerse a la supeficie del pavimento para asegurar una adherencia adecuada garantizando una union monolitica entre los concretos.



Foto 4.21 Colocacion del adherente

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Entre estos agentes de adherencia tenemos; Agentes Epoxicos y Lechadas cemento-arena. Ambos han sido aplicados con éxito.

b) Mezclado.- En general el volumen de hormigón por colocar en estos parches es pequeño, por lo que los materiales para la reparacion se deben mezclar en sitio en pequeñas mezcladoras de tambor. El mezclado en sitio permite reducir el desperdicio de material y puede, de hecho, mejorar la calidad.

Cuando se requiere de un adherente o de una lechada, el material debe mezclar en pequeñas cantidades de manera que el desecho no sea excesivo. El tiempo de contacto entre el cemento y el agua en la lechada no debe exceder de los 90 minutos.

c) Consolidacion.- La mezcla para el parche se debe colocar y vibrar para su consolidacion con el objeto de eliminar cualquier vacio en el contacto del parche y el concreto existente esto mejorara la dherencia entre ambas superficies y aumentara la resistencia al corte. Se deben usar vibradores pequeños de inmersion ($D < 25\text{mm}$), para consolidad el concreto.

Duarante la vibracion el area debe estar un poco sobrellenada para compensar la consolidacion. el vibrador se mueve con lentitud por el area del parche para asgurar una consolidacion completa. El vibrador no se debe usar para mover el material del parche pues

ocasionaria una segregación en la mezcla. En las reparaciones muy pequeñas, las herramientas de mano serán suficientes para trabajar el material de la reparación y obtener una consolidación adecuada.

d) Acabado.- El material de la reparación debe tener un acabado cuidadoso con respecto a la sección transversal del pavimento existente. El proceso de acabado recomendado es el de emparejar desde el centro del parche hacia fuera, igualando los niveles laterales, proporcionando interfaces más parejas con el concreto existente y desarrollando una buena resistencia de adhesión. Moviéndose la regla manual hacia las juntas en los bordes del parche el material se adhiere más a estos puntos que se empuja al material hacia la interfase incrementando el potencial para una alta resistencia de adherencia.



Figura 4.30 Efectos de la dirección del acabado en la adherencia de los bordes del parche (Fuente: Diseño construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto)

e) Texturizado.- Después del acabado, el parche se debe texturizar adecuadamente para aproximarse al del pavimento existente. Aunque el área total de los parcheos no es grande y la textura tendrá poco o ningún impacto en la resistencia al patinaje del pavimento, esto producirá una apariencia más uniforme.

f) Sellado.- Este es a menudo ignorado en la colocación de reparaciones de profundidad parcial es el sellado de la interfase del parche con la losa. Este procedimiento se emplea en donde se usa material de reparación con base en cemento, e involucra el pintado con una lechada de cemento con agua de 1:1 a lo largo del perímetro del parche. Esto formará una barrera contra la humedad sobre la interfase y contribuirá a impedir el deterioro del parche.

g) Curado.- Los procedimientos de curado en las reparaciones de profundidad parcial son muy importantes debido a la gran superficie de estas pequeñas reparaciones comparadas con el volumen del material de la reparación. Esta relación conduce a una rápida pérdida de humedad, diferente de la mayoría de los otros usos del concreto. Es probable que los malos procedimientos de curado generen grietas por contracción y el deterioro de la reparación. Un procedimiento adecuado es aplicar un compuesto de curado en los momentos en que el agua de exudación se ha evaporado de la superficie de la reparación.

En donde se requiera de una apertura temprana al tráfico, puede resultar beneficiosa la colocación de esteras de aislamiento sobre las reparaciones. Esto mantendrá el calor proveniente de la hidratación y promoverá una mayor ganancia de resistencia para los materiales con base en cemento.



*Foto 4.22 Curado luego de evaporado el agua de exudación
(Fuente: Curso de restauración de pavimentos rígidos del IBCH)*

Resellado de juntas.- Después de que el parche ha adquirido la suficiente resistencia, se puede llenar la junta el sellado se debe efectuar de acuerdo con las recomendaciones tradicionales para este fin. Es importante que las paredes de la junta estén limpias y secas para lograr un buen comportamiento del material de sello. Son esenciales el aserrado para proporcionar el factor forma adecuado de la junta y el chorro de arena para remover la suciedad y restos del aserrado de las paredes de la junta.

El sellado de la junta es muy importante debido a que contribuirá a evitar que la humedad y los materiales incompresibles puedan causar un daño.



Foto 4.23 Sellado de la junta despues de una Reparacion de profundidad parcial

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Cuando se aplican adecuadamente y se construyen con cuidado, las reparaciones de profundidad parcial pueden resultar como reparaciones muy efectivas con cuanto a costo para el descascamiento y el deterioro superficial. En la siguiente figura se puede apreciar una reparación de profundidad parcial terminada y abierta al tráfico.



Foto 4.24 Reparacion de espesor parcial terminado y abierto al trafico

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

4.3.2. Resellado de juntas y fisuras

En esta operación se definen los trabajos para resellar juntas y sellar o resellar grietas existentes en pavimentos de hormigón. Consiste en la remoción del sello antiguo (si existe), el aserrado de una nueva caja de dimensiones apropiadas para el sellante por usar, la limpieza de la nueva caja en todo su espesor y la instalación del sellante.

Mantener selladas las juntas y grietas es fundamental para alcanzar la vida útil esperada para el pavimento, ya que reduce la infiltración de agua y previene la intrusión de materiales incompresibles que restrinjan el libre movimiento de las losas. Sin embargo, para que un sellado cumpla cabalmente el objetivo para el cual se coloca es necesario que las juntas y grietas no trabajen, es decir que no experimenten desplazamientos verticales significativos entre sí. Los desplazamientos se originan porque no existe un traspaso adecuado de las cargas entre las losas. Las juntas y grietas que presentan esa condición de estar trabajando, deben repararse con los procedimientos descritos en las operaciones de reparación en todo el espesor antes de proceder con un resellado.

Las causas más frecuentes para que el material de sello sea deficiente, son:

- Endurecimiento por oxidación del material de sello.
- Pérdida de adherencia con los bordes de las losas.
- Levantamiento del material de sello por efecto del tránsito y movimientos de las losas.
- Escasez o ausencia del material de sello
- Material de sello inadecuado

Las juntas transversales son las más críticas a ser reselladas ante el deterioro del material de sello.

En juntas longitudinales el sellante no necesita ser tan elástico como para la junta transversal, ya que las juntas longitudinales están amarradas y prácticamente no tienen movimiento. Mientras que en las juntas transversales, los movimientos longitudinales inducen mayores estados de tensión y deformación en el sellador de los que se dan en las longitudinales, debiendo el sellante soportar estos esfuerzos.

Quitado del sello antiguo.- Las juntas y grietas que contengan restos de sellos antiguos o materias extrañas, deberán limpiarse completa y cuidadosamente en toda su profundidad. Para ello se deberán utilizar sierras, herramientas manuales u otros equipos adecuados que permitan remover el sello o relleno antiguo sin afectar al concreto.

No deberán utilizarse barretas, equipos neumáticos de percusión u otras herramientas o elementos destinados a picar la junta o que puedan soltar o desprender trozos de hormigón. En general no se deberán usar solventes para remover el sello antiguo, salvo que se

demuestre que el procedimiento no significará transportar los contaminantes más hacia el interior de la junta, ni una impregnación mayor del hormigón con aceite u otros materiales.



Foto 4.25 Extracción del sello antiguo en forma manual

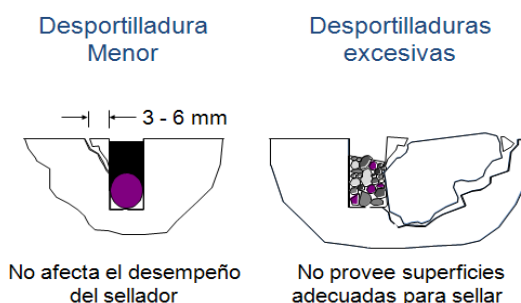


Figura 4.31 Posibles desportilladuras ante uso de elementos inadecuados en el quitado del sello antiguo.

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Formacion y Limpieza del reservorio.- Las juntas que carezcan de una caja en su parte superior deberán aserrarse para conformar una caja, mínimo de entre 9 mm y 12 mm de ancho y entre 22 y 35 mm de profundidad, según el tipo de sellante y respaldo por emplear.

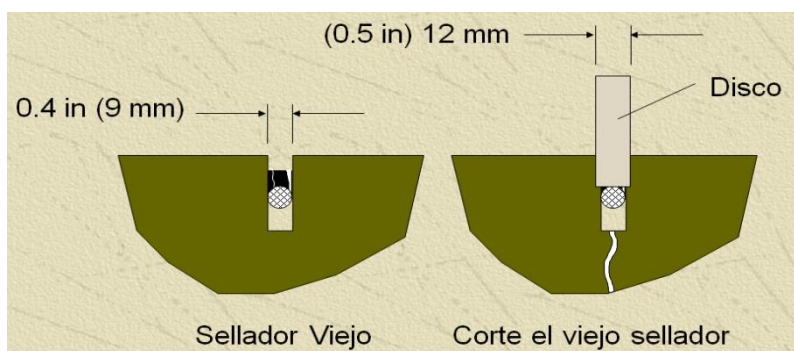


Figura 4.32 Ensanchamiento de la junta o fisura

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Una vez formado el reservorio se procederá a repasar cuidadosamente barriendo con una escobilla de acero, que asegure la eliminación de cualquier material extraño o suelto. La limpieza deberá terminar con un soplado con aire comprimido, que elimine todo vestigio de material contaminante, incluso el polvo. Antes de utilizar este equipo se deberá constatar que el aire expulsado esté completamente libre de aceite. La limpieza de las caras de la

junta afecta directamente la adherencia del sellante al concreto. Una limpieza pobre reduce la adherencia del sellador a la interface con la junta, lo que reduce significativamente la efectividad del sellador.



a) Grietas

b) Juntas

(resulta más difícil de formar, limpiar y sellar)

Foto 4.26 reservorio (formado y limpio)

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Instalado la tira de respaldo (en sellos líquidos).- La cintilla de respaldo es un componente muy importante en la instalación de los sellos líquidos, ya que impide que el sello líquido fluya hasta el fondo de la junta, evitando la adhesión del sello con el fondo del depósito de la junta, además la cintilla de respaldo sirve para definir el factor de forma y optimizar la cantidad de sellador empleado.

Las tiras de respaldo de mayor aplicación son las siguientes:

- Espuma de polietileno: espuma de celdas cerradas; no absorbe el agua y es moderadamente compresible. Es más adecuada para los selladores de vertido en frío, ya que podría derretirse al contacto con los materiales de vertido en caliente.
- Espuma eslabonada de polietileno: espuma de celdas selladas; no es compatible con los selladores de vertido en caliente. No absorbe el agua y es moderadamente compresible.
- Espuma de poliuretano: espuma de celdas abiertas; absorbe el agua, pero no se derrite cuando se usa para sellante vertido caliente, y es muy compresible.

El cordón o tira por emplear como respaldo deberá ajustarse a lo recomendado por el fabricante del material sellante, y ser ligeramente más ancho que la junta de manera que

ajuste bien. Se instalan en el depósito de la junta antes que se coloque el sello líquido, deberá quedar perfectamente alineado a una profundidad constante y sin pliegues o curvaturas.



Foto 4.27 Instalación de tira de respaldo en juntas

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

El tamaño del medio de tira de respaldo requerido dependerá del ancho de las juntas después de la preparación adecuada, según se indica en la tabla 4.5.

Tabla 4.6 Tamaño medio recomendados de tira de respaldo	
Ancho de la junta (cm)	Diametro de tira de respaldo (cm)
0.80	0.90
0.90	1.30
1.30	1.60
1.60	1.90
1.90	2.50
2.50	3.20
3.20	3.80
3.80	5.10

Fuente: ICPC

La profundidad de ubicación de la tira de respaldo debe estar de acuerdo al tipo de sellante, requiriendo mayores profundidades para sellos de asfalto y menores para silicona o poliuretano.

Materiales de sello.- El material sellante para las juntas transversales y longitudinales deberá ser elástico, resistente a los efectos de combustibles y aceites automotrices, con propiedades adherentes con el concreto y que permita las dilataciones y contracciones que

se presenten en las losas de concreto sin degradarse, debiéndose emplear productos a base de silicona, poliuretano - asfalto o similares, los cuales deberán ser autonivelantes, de un solo componente y solidificarse a temperatura ambiente. El material se deberá adherir a los lados de la junta o grieta con el concreto y deberá formar un sello efectivo contra la filtración de agua o incrustación de materiales incompresibles.

Tabla 4.7 Descripción y especificaciones para materiales sellantes.

Tipo del sellador	Especificación (es)	Propiedades
Selladores vaciados en caliente		
A base de asfalto poliméricos	ASTM D3405 ASTM D1190 AASHTO MO183 SS-S-1401 C	Autonivelante Autonivelante Autonivelante Autonivelante
Polímeros de bajo módulo	ASTM D3405	Autonivelante
Elastoméricos PVC alquitrán de hulla	ASTM D3406 SS-S-1614	Autonivelante Autonivelante
Elásticos	ASTM D1854	Resistente al combustible de avión
Elastoméricos PVC alquitrán de hulla	ASTM D3569 ASTM D3581	Resistente al combustible de avión
Selladores de un solo componente vaciado en frío		
Silicón	N.D	No se comba, trabajable, bajo módulo
Silicón	N.D	Autonivelante (sin herramienta), bajo módulo
Silicón	N.D	Autonivelante (sin herramienta), muy bajo módulo
Sellador de goma de nitrilo	N.D	Autonivelante (trabajable), no se comba
Polisulfido	N.D	Autonivelante (sin herramienta), bajo módulo
Polímeros de bajo módulo	N.D	Autonivelante (sin herramienta), bajo módulo
Selladores de dos componentes vaciados en frío		
Polímeros elastoméricos	SS-S-200	Resistente al combustible de avión
Policloropreno elastomérico preformado (sellos que se aplican comprimidos)		
Sellos preformados	ASTM D2628 Lubricante Adhesivo	Resistente al combustible de aviones ASTM D2835
Rellenos de juntas de expansión preformados		
Rellenos preformados	ASTM D1751 AASHTO M213	Asfáltico, no extruido, elástico
Rellenos preformados	ASTM D1752 AASHTO M153	Esponja de goma, corcho
Rellenos preformados	ASTM D994 AASHTO M33	Asfáltico

Fuente: ICPC

El mercado ofrece una vasta gama de materiales sellantes, tanto moldeados en campo, sello líquido, como preformados, por compresión. El éxito de los selladores líquidos, depende de que la adherencia a las paredes de las juntas se mantenga por largo plazo y el de los selladores preformados depende del rechazo lateral a largo plazo. En la tabla se consignan las descripciones y especificaciones de algunos de los materiales disponibles en el mercado. Las propiedades del sellante dependen de su aplicación y de las condiciones climáticas durante su instalación. Entre las propiedades a considerar incluyen:

- Elasticidad: capacidad de un sellador para volver a su forma original después de que se estire o se comprima.
- Módulo: cambio de las tensiones internas en un sellador mientras se está estirando, o comprimiendo, considerando un rango de temperaturas (rigidez de material). Un módulo bajo es deseable e importante en clima frío.
- Adherencia: la capacidad de un sellador para adherirse al concreto. La adherencia inicial es de igual importancia que la de largo plazo. No es aplicable a los sellos preformados que se aplican comprimidos.
- Cohesión: capacidad del sellante para resistir el desgarro causado por la tracción. No es aplicable a los sellos preformados que se aplican comprimidos.
- Resistencia a los combustibles y al clima: sobre todo a los rayos solares ultravioleta y el ozono.
- Compatibilidad: entre el sellador y el cordón de respaldo (backer rods).

A continuación se detallan los tipos de selladores:

Sellante líquido.- El sellante líquido se clasifica en termoplástico y termoestable. Los termoplásticos como el asfalto, se endurecen al perder el calor inicial que los mantuvo en el inicio en estado líquido o semilíquido; teniendo la desventaja de que con el tiempo y los cambios de temperatura, se cristaliza, perdiendo las características elásticas necesarias. Los sellos de fraguado térmico y curado químico, como el alquitrán de hulla con poli sulfuros o poliuretanos, el metano y bicomponentes del epóxico, son catalizadores, que con el calor inicial dentro del material lo endurecen, auxiliados posteriormente por la humedad ambiente. Estos son de costos más elevados, pero más durables y más resistentes a la penetración, que permite mayores movimientos entre las juntas. El sellante líquido se puede verter en frío o caliente.

- Sellante vertido en frío.- Entre los selladores vertidos en frío esta el silicón, de un componente simple que no requiere de mezcla ni calentamiento y que al ser aplicado cura en 30 min, complementándose con la humedad del aire, aunque también este proceso se ve afectado por las condiciones ambientales y especificaciones del fabricante, tales como, no ser aplicada cuando llueve o con temperaturas bajo el punto de rocío. Estos selladores son adecuados para climas con grandes diferencias de temperatura. La mayoría tiene un módulo

elástico bajo, que permite una buena recuperación de las deformaciones de tracción y compresión; pudiendo soportar, por lo menos, un 100% de extensión y un 50% de compresión sin sufrir daños.

- Sellante vertido en caliente.- Estos sellantes requieren una temperatura de calentamiento entre 175 a 200°C para su aplicación. Los fabricantes recomiendan derretir el material en calderas de tanque doble, equipado en su interior con un agitador, para la distribución uniforme de la temperatura, y el exterior lleno de aceite para evitar pérdidas de calor. Para el calentamiento se utiliza gas y no combustibles fósiles como madera, carbón, etc.; además, la caldera no debe tener contacto directo con el suelo. Para no perder la temperatura entre la caldera y la boquilla de eyección, se utilizan mangueras con aislamiento térmico.

Sellos preformados.- Estos selladores vienen listos para su instalación; por lo que no necesitan calentarse, mezclarse, ni curarse en el terreno. Poseen la capacidad de sellar cuando hay presente mucha humedad. Proveen una efectiva reducción en astillamientos de las juntas de concreto y alta resistencia al combustible de los aviones de propulsión a chorro. Estos selladores están en compresión durante toda su vida útil. El neopreno es el componente principal, caucho sintético, que tiene la capacidad de presión, resiliente bajo compresión. El sello consiste en un perfil hueco de celdas múltiples que se puedan encoger en dirección perpendicular a su eje, a manera de fuelle, que genera la fuerza expansiva que mantiene al sellador contra las paredes de la caja de la junta.

Las dimensiones típicas del sello de neopreno, tabla, se diseñan con respecto al ancho de la junta y el largo de la losa. Debiéndose considerar la temperatura de colocación.

Tabla 4.7 Tamaños recomendados para sellos de compresión preformado

Longitud de losas	Ancho mínimo de las juntas de las cajas de las juntas (mm)	Profundidad mínima de las cajas de las juntas (mm)	Ancho del sello en reposo (mm)
4.5	6	38	11
6.0	8	38	16
7.5	10	50	17
9.0	13	50	25

Fuente: ICPC

Recomendando utilizarlos de acuerdo al ancho de la junta o grieta:

- Juntas de hasta 12 mm de ancho.- Se sellarán con productos que tengan una deformación admisible entre el 20% y el 30%, y que cumplan con los requisitos establecidos en las normas correspondientes. Los imprimantes y cordones de respaldo serán los adecuados y compatibles con el sellante.
- Juntas de ancho entre 12 mm y 20 mm.- Se sellarán con productos del tipo termoplástico aplicados en caliente, que tengan una deformación admisible entre el 10% y el 20% y que cumplan con las normas correspondientes.
- Juntas de ancho entre 20 mm y 30 mm y grietas entre 3 mm y 30 mm de ancho y grietas longitudinales.- Se sellarán con un producto tipo mástic asfáltico modificado con polímero que cumpla con lo siguiente:
 - Penetración, 25°C, 100g, 5 s, 10-1 mm: máx. 60
 - Ductilidad, 0°C, mm: mín. 20
 - Filler, porcentaje en peso: máx. 25
 - Punto Ablandamiento, °C: mín. 58
- Juntas y grietas de ancho superior a 30 mm.- Se sellarán con una mezcla de arena-emulsión asfáltica con una dosis mínima de 18% de emulsión. La arena deberá ajustarse a alguna de las granulometrías que se indican en la Tabla.

Tabla 4.8 Granulometrías de arenas para el sellado				
Tamiz		Porcentaje en peso que pasa		
mm	(ASTM)	A	B	C
12.5	(1/2")	-----	----	100
10	(3/8")	100	100	85-100
5	(Nº4)	85-100	85-100	55-85
2.5	(Nº8)	80-90	65-90	35-65
0.63	(Nº30)	55-80	30-50	15-35
0.16	(Nº100)	5-15	5-15	2-10

Fuente: IMCYC

Sellado.- Las juntas se sellarán con productos que cumplan con los requisitos. El sellante deberá cubrir el ancho de la caja y quedar entre 4 y 6 mm por debajo de la superficie del pavimento, con el objeto de evitar futuros problemas con la extrusión del sello.

El sellado deberá ejecutarse con equipos mecánicos adecuados para asegurar un vaciado continuo y uniforme, que no deje espacios intermedios sin rellenar. La operación además deberá ser limpia, rellenando exclusivamente las áreas requeridas; cualquier material de sello que manche zonas del pavimento fuera de la grieta o junta deberá ser completamente retirado.

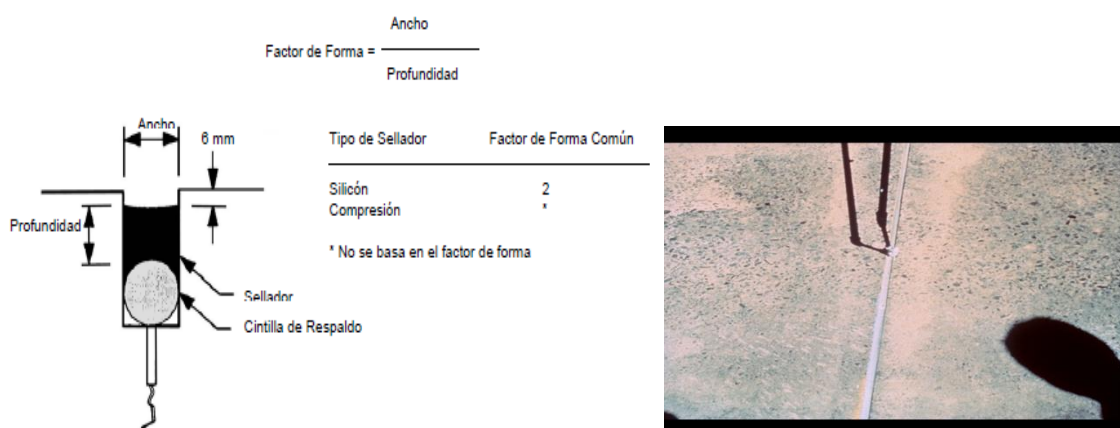


Figura 4.33 Sellado de juntas

(Fuente: Diseño construcción y mantenimiento de pavimentos de concreto “IPCP”)

Sellado de Juntas de hasta 12 mm de Ancho.- Primeramente deberán limpiarse de acuerdo a lo especificado más arriba.

Las juntas que carezcan de una caja en su parte superior deberán aserrarse para conformar una caja, mínimo de entre 8 mm y 12 mm de ancho y entre 22 y 35 mm de profundidad, según el tipo de sellante y respaldo por emplear. El cordón o lámina por emplear como respaldo deberá ajustarse a lo recomendado por el fabricante del material sellante, y ser ligeramente más ancho que la junta de manera que ajuste bien. Deberá quedar perfectamente alineado a una profundidad constante y sin pliegues o curvaturas.

Cuando el fabricante del sellador recomiende usar imprimante, éste se deberá colocar en forma pareja cubriendo las dos caras de la junta, utilizando procedimientos aprobados.

Las juntas se sellarán con productos que cumplan con los requisitos señalados. El sellante deberá cubrir el ancho de la caja y quedar entre 4 y 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

Sellado de Juntas de Ancho entre 12 mm y 20 mm.- Para estas juntas se seguirá un procedimiento similar al descrito para las juntas de hasta 12 mm de ancho, salvo que el ancho de la caja será de hasta 20 mm, y su profundidad la necesaria para colocar el cordón de respaldo o lámina, un sellante de mínimo 14 mm de profundidad y que queden 4 a 5 mm libres entre la cara superior del sellante y la superficie del pavimento.

Las juntas clasificadas en este grupo deberán sellarse con productos termoplásticos que cumplan con lo estipulado. El imprimante deberá ajustarse a las recomendaciones del fabricante del sellante.

Sellado de Juntas de Ancho entre 20 mm y 30 mm.- Las juntas de ancho entre 20 mm y 30 mm deberán limpiarse de acuerdo con lo especificado. Se sellarán con productos del tipo mástic asfáltico que se ajusten a lo estipulado. La profundidad del sello será como mínimo de 15 mm, debiendo quedar de 4 a 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

Sellado de Grietas de Ancho entre 3 mm y 30 mm.- Deberán limpiarse de acuerdo a lo especificado y luego biselar los bordes mediante equipo esmerilador u otro aprobado, de manera de formar una cavidad de 6 mm de ancho mínimo. Se sellarán con productos tipo mástic asfáltico que cumplan con lo dispuesto. El espesor del material sellante será como mínimo de 15 mm, cualquiera fuere el ancho superficial de la grieta, y deberá quedar entre 4 y 5 mm por debajo de la superficie del pavimento.

Sellado de Juntas y Grietas de Ancho Superior a 30 mm.- Las juntas y grietas de más de 30 mm de ancho se limpiarán de acuerdo con lo especificado, y se sellarán con una mezcla de arena-emulsión asfáltica siempre que el ancho promedio no exceda los 100 mm, en cuyo caso el sellado se hará con una mezcla en caliente. En ambos casos el espesor del material sellante será como mínimo 20 mm. El relleno deberá quedar de 4 a 5 mm por debajo de la superficie del pavimento. Las mezclas se ajustarán a lo dispuesto.

Las paredes de las juntas y grietas deberán imprimirse con emulsión asfáltica diluida. Se utilizarán emulsiones, a las que se les agregará una parte igual de agua. No se deberá imprimir una longitud mayor que aquélla que pueda sellarse en la jornada de trabajo.

Sellado de Juntas Longitudinales de Cualquier Ancho.- Las juntas longitudinales deberán limpiarse según se especifica más arriba, y sellarse con productos tipo mástic asfáltico que se ajusten a los requisitos estipulados.



Foto 4.28 resellado de grietas y juntas terminado

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

4.3.3. Retrocolocado de barras pasajuntas

Esta es una tecnica de gran creciente aplicación, mediante esta tecnica se busca, reestablecer la transferencia de cargas en juntas y grietas y prevenir escalonamientos futuros, reduciendo asi la posibilidad de que se produzcan mayores deterioros (Bombeo y escalonamiento, Desportilladuras, Rotura de Esquinas), mediante la instalacion de barras. Laoperación mejora la capacidad estructural por el mejoramiento de la transferencia de carga en las juntas y la disminución de esfuerzos que produce en las esquinas de las losas adyacentes.

Se recomienda la aplicación de esta tecnica en los casos de:

- Juntas que presentan esfuerzos a causa de poca transferencia de cargas (< 50%)
- Fisuras uniformes que no se han abierto o escalonado
 - Escalonamiento mayor de 2,5 mm.
 - Escalonamiento menor de 6 mm.
 - Despostillamientos menores de 7,5 cm.

- Más apropiado en pavimentos que presentan tráfico pesado
- Pavimentos > 8 in (200 mm) de espesor.

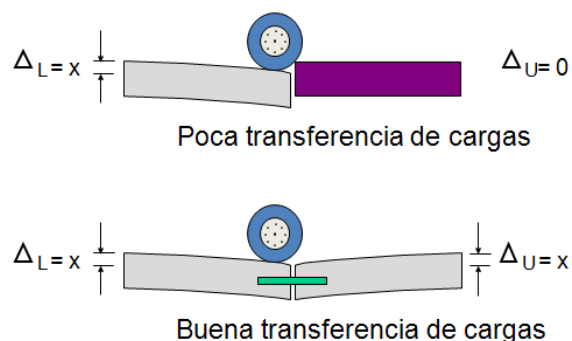


Figura 4.34 Efectividad de la transferencia de carga

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

El proceso involucra el aserrado de ranuras a través de la junta o grieta, la instalación de los pasadores y el relleno de la ranura, generalmente con el mismo material empleado en las reparaciones de espesor parcial.



Foto 4.29 Equipo de cortado de barras

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Corte de barras.- Para proyectos grandes se recomienda disponer de equipos para el cortado de éstas de las barras originales de 12 m en piezas de 45 cm o en su caso pedir que el proveedor las entregue cortadas.

En la foto 4.29, se aprecia el trabajo de cortado de un paquete de 25 barras por medio de una sierra mecánica de banco

Detalle del cortado del paquete de barras pasajunta

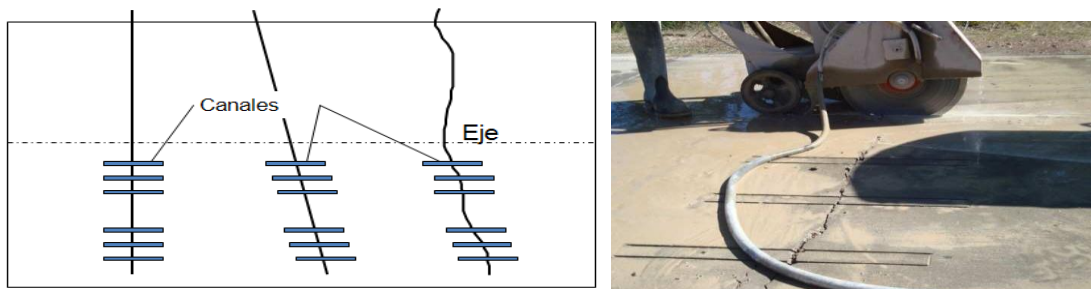
- Este equipo tiene un sistema de lubricación para que la hoja de corte y las barras que están siendo cortadas no lleguen a sobrecalentarse.
- El diámetro más usado es de 25 mm (se calcula en un octavo del espesor de la losa) y la longitud es de 45 cm.
- El espaciamiento típico es de 30 cm

Corte de ranuras.- El corte de ranuras que alojaran las barras se lo realizara mediante:

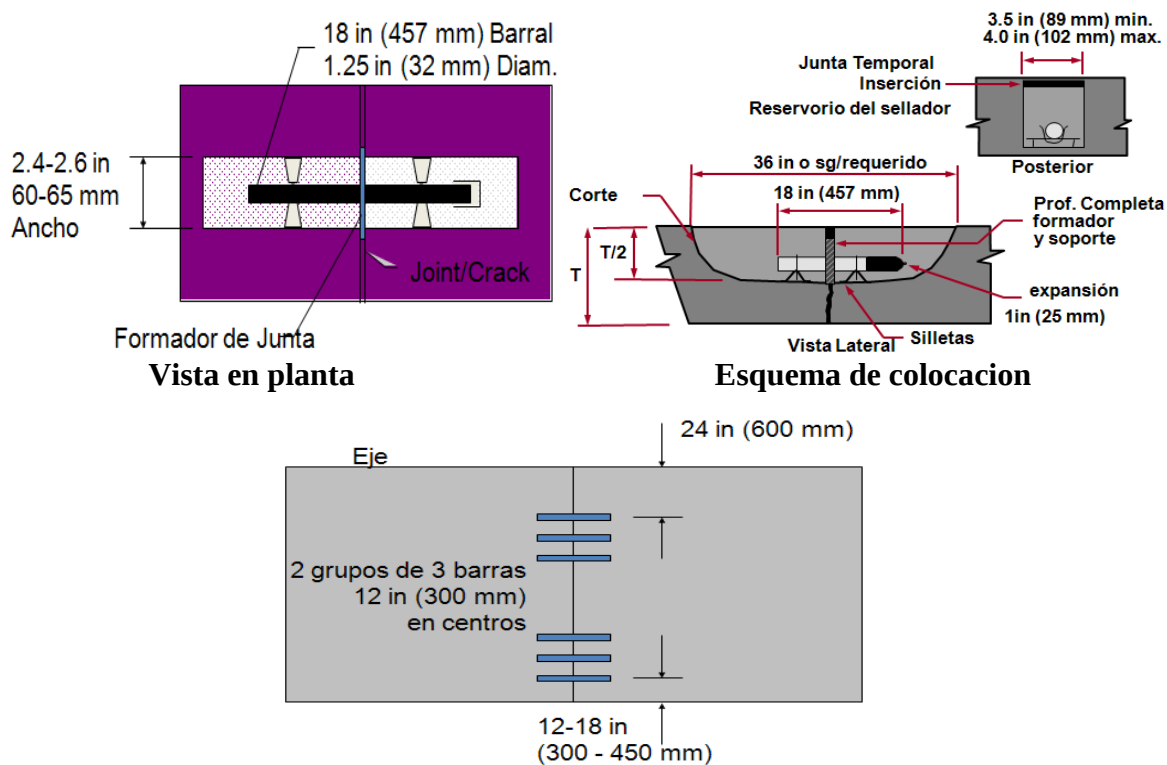


***Foto 4.30 Cortado del pavimento mediante cortadoras estandar
(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)***

- Máquinas de corte de ranuras.
 - Cortan paralelo al pavimento.
 - Cortan paralelos entre si.
 - Cortan a una profundidad uniforme (0.5 in [13 mm] por debajo de la barra.
- Cortadoras Estándar
 - Cortes Múltiples.
 - Mas difíciles de controlar.
 - No aptas para alta producción.



Paralelo al eje



Ubicacion en el carril

Figura 4.35 Especificaciones de corte de ranuras y formacion de depositos para barras pasajuntas (Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Preparación y limpieza de “depósitos”

Preparación de depositos

- Usar 15-30 lb (7-13.5 kg) martillos neumáticos o herramientas manuales
- Picar en piezas pequeñas
- Remover irregularidades de la base de la ranura.
- Sellar juntas para preveer la intrusión de partículas.



Foto 4.31 Preparacion de depositos

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Limpieza de los depositos.- Proceso similar para reparaciones parciales:

- Chorro de arena primero
- Soplado de aire para remover escombros
- Revisar manualmente que no haya polvo
- Calafatear la junta dentro de la ranura



Foto 4.32 Limpieza de los depositos

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Preparación de las pasajuntas

Colocar el inductor de junta

- Plastoform
- Tablero de fibra



Colocar un capuchón de expansión no metálica a un extremo

Usar silletas no metálicas (al tamaño de la ranura)

Lubricar las barras.- Las barras deben ser revestidas con una capa delgada de grasa u otra sustancia en toda su longitud para prevenir fricción entre barra y hormigón. La barra debe estar libre para deslizarse en el hormigón para que las losas se muevan independientemente. Se debe usar un revestimiento delgado, ya que uno más grueso puede resultar en vacíos en el hormigón alrededor de las barras.

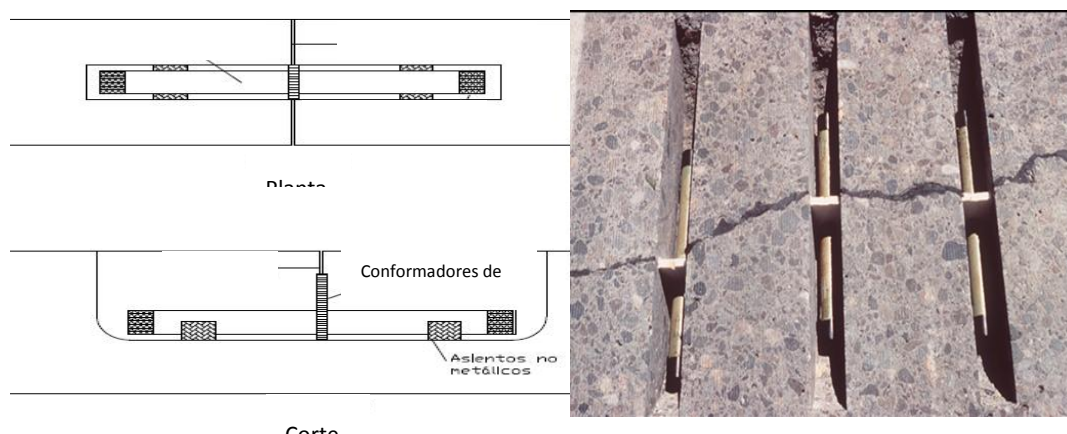


Figura 4.36 Instalacion de las barras o pasadores

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Recomendaciones en cuanto a la instalacion de barras.

- Las barras deben ser paralelas a la base, paralelas al eje y paralelas entre sí.
- Asegúrese de que las patas de las silletas asienten bien contra las paredes de la ranura
- Empuje ensamblando a la base de la ranura
- Colocar inductor en el centro de la junta o grieta

Vaciado de hormigón en las barras

Material de Reparaciones

- Características Requeridas
 - Minimizar la retracción - Desarrollo rápido de resistencia
 - Buena adherencia con el hormigón
- Tipos de materiales
 - Materiales propios - Hormigón con polímeros
 - Hormigón normal - Adherentes Epoxicos

Especificaciones para el vaciado

- Mezclar el relleno en pequeñas cantidades
 - Evitar agregado mayor a 3/8 in (10 mm)
 - Tener cuidado con los aditivos
- Vibrar con un vibrador pequeño
 - Diámetro 1 in (25 mm)
 - Evite tocar las pasajuntas



Foto 4.33 Vaciado del concreto en la barras

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

Pasos Finales

- Terminado similar al de la superficie circundante.
- Colocar compuesto de curado según se requiera.
- Corte sobre el formador de la junta.



Foto 4.34 Retrocolocadode barras pasajuntas concluido

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

4.3.4. Estabilización de losas

Uno de los problemas que causa mayores daños y disminuye enormemente la serviciabilidad de un pavimento de concreto, es la pérdida de apoyo de las losas debido a vacíos bajo ellas. Estos vacíos son producto principalmente del bombeo de finos a través de las juntas o berma abierta, de la consolidación de la base causada por el tránsito repetido de camiones pesados, por una falla de la subrasante a causa de las sobrecargas cerca de las juntas o bien debido a la pérdida de la capacidad de resistencia a las cargas producto de la saturación de la subrasante. Las cargas de tránsito pesado inducen las mayores deflexiones de las losas cerca de las juntas transversales y grietas de trabajo. Sin apoyo por debajo de la losa, las tensiones en el concreto se incrementan y pueden ocasionar escalonamiento, rotura de esquinas y extenso agrietamiento.

Descripción.- Es el conjunto de actividades que se realizan para rellenar los espacios vacíos existentes debajo, de las losas de concreto hidráulico de un pavimento, mediante la inyección bajo presión de una lechada, la que proveerá una capa delgada que reducirá las deflexiones y resistirá la acción del bombeo. El propósito de estabilizarlas es proporcionándoles un apoyo uniforme, sin levantarlas. Realizado principalmente para verificar el bombeo y o los huecos detectados por ensayos no destructivos. También se lo conoce como Lechada a presión, Sellado subterráneo (grout), Inyecciones sub-superficiales.

Para garantizar una correcta estabilización de losas se debe de tener en cuenta lo siguientes parámetros:

- Detección de los vacíos en forma precisa
- Diseñar y mezclar una buena lechada
- Usar buenas técnicas de perforación e inyección
- Realizar un ensayo posterior

Detección de los vacíos en forma precisa.- La estabilización de losas se debe hacer solamente en las juntas y en las fracturas donde exista la pérdida de soporte.

Pudiendo determinar los vacíos mediante las dos siguientes alternativas:

- Inspección visual
- Medición de Deflexiones

Inspección visual.- Para detectar los vacíos mediante una inspección visual en general se debe de buscar las siguientes fallas:

- ✓ Juntas con escalonamiento
- ✓ Manchas por bombeo de finos
- ✓ huecos en la berma
- ✓ Rotura de esquinas
- ✓ Hundimientos en las bermas
- ✓ Áreas con hundimientos

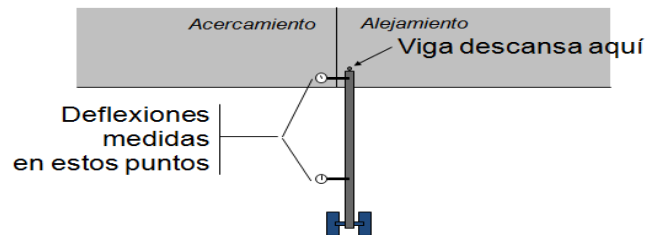
Además que se dan las siguientes recomendaciones:

- Pavimentos de losas de concreto. El bombeo con frecuencia se presenta en las juntas y fracturas transversales. La estabilización de losas se debe considerar solamente en estos lugares. Si hay una evidencia de bombeo a lo largo de las orillas de la losa entre las juntas, la estabilización de losas debe ser considerada también a lo largo de las orillas.
- Pavimentos continuos de concreto reforzado. El bombeo ocurre a través del carril exterior del pavimento, o sea el carril de máxima carga vehicular y mas usualmente en hundimientos o depresiones localizadas, resanes existentes y perforaciones.
- La estabilización de losas generalmente se debe realizar solo en áreas localizadas de deflexiones altas o donde se observe el bombeo. Se hay una prueba visual de bombeo extenso a lo largo de todo el proyecto, la mayoría de este se debe considerar para cubrirse en la estabilización de losas.
- Reparaciones efectuadas del espesor total de la losa. La estabilización debe ser realizada en aquellas reparaciones efectuadas en el espesor total de las losas, que muestren cualquier evidencia de bombeo o sedimentación; esto alargar la vida de la reparación y de las losas de alrededor.

Medición de deflexiones.- La pérdida de soporte se o vacíos en la base, se evalúa empleando el método de ensayos no destructivos. La viga Benkelman es un instrumento simple para la medición de deflexiones. La medición de deflexiones bajo las cargas pesadas permite una evaluación real y puntual del soporte de base.

Consideraciones para el ensayo de viga Benkelman:

- Extensómetro adecuado (0.001 in [0.025 mm])
- Carga de camión conocida (18 kip [80 kN])
- Medir a ambos lados de la junta para comparar deflexiones
- Ensayar cuando las losas estén frías



Estabilizar Si..
 Deflección en la junta > 0.02 – 0.025 in
 (0.5-0.6 mm)

Figura 4.37 Ensayo de viga Benkelman

(fuente: Normas de conservacion de carreteras “secretaria de comunicaciones y transporte”)

Otro método es usar un dispositivo de carga pesada (prueba de Placa), capaz de adaptarse a cargas niveladas y excedentes como las cargas de camión, es usado para estudiar deflexiones del borde.

Consideraciones para el ensayo de prueba de placa:

- Usar carga conocida (18 kip [80 kN])
- Medir a ambos lados de la junta para comparar deflexiones
- Ensayar cuando las losas estén frías



Foto 4.35 Ensayo Prueba de placa

(fuente: Normas de conservacion de carreteras “secretaria de comunicaciones y transporte”)

Detección de vacíos debajo de la losa se precisa obtener:

- Deflexión máxima en la esquina
- Perfil de deflexión de la esquina
- Diagramar las deflexiones de la esquina a diferentes niveles de carga.

Tabla 4.9

Criterios de la Máxima deflexión en la esquina	
South Dakota	0.010 in
Florida	0.015 in
Pennsylvania	0.020 in
Texas	0.020 in
Oregón	0.025 in
Georgia	0.030 in
Washington	0.035 in

(Fuente: Curso de restauracion IBCH)

(fuente: Normas de conservacion de carreteras “secretaria de comunicaciones y transporte”)

Materiales para lechada.- Los materiales que se utilicen para el relleno de espacios vacíos bajo las losas de concreto hidráulico para pavimento, serán del tipo y con las características de compatibilidad con el concreto, resistencia, adhesión y durabilidad, entre otras. Estos materiales pueden ser lechadas de cemento hidráulico, incluyendo cal arena y estabilizantes como “filler”, cemento asfáltico oxidado de alta viscosidad, o productos especiales para la estabilización de losas de concreto.

Los morteros de cemento hidráulico se han usado más extensamente que los de cemento asfáltico. Un material de silicón y caucho espumoso ha sido probado recientemente en California con buenos resultados en la prevención de la acción futura de bombeo. Los morteros hidráulicos se usan extensivamente en la nivelación de losas.

Lechadas de cemento hidráulico.- Existen varias alternativas. Una mezcla de mortero de consistencia firme es utilizada para la nivelación de losas, más que para la estabilización.

Los materiales que conforman el mortero influyen bastante en la consistencia, resistencia y durabilidad de la mezcla.

Generalmente se utilizan las siguientes:

- Mortero de cemento puzolánico.
- Mortero de cemento y cal.
- Mortero de cemento y arena fina.

La mezcla de mortero que se utilice para la estabilización de losas debe ser lo suficientemente líquida para fluir a pequeños huecos y desarrollar una resistencia adecuada y propiedades suficientes de durabilidad. El uso de mortero de cemento y arena fina no proporciona buenas características de flujo, especialmente cuando los huecos son pequeños y dispersos. El otro gran problema que ocurre con el uso de este material es la infiltración de arena en las juntas transversales, perjudicando así su funcionamiento. Las otras mezclas de mortero no causan este problema.

Una mezcla recomendada para la estabilización de losas es la siguiente:

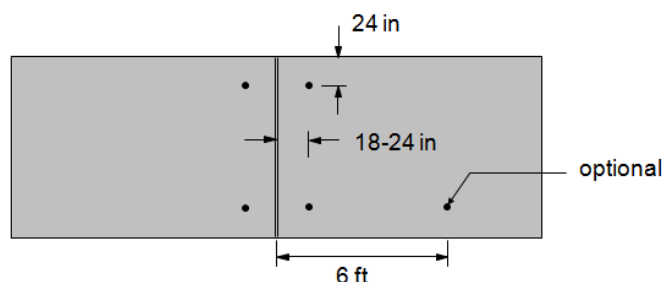
- Una parte por volumen de cemento Portland tipo I o II (el tipo III, debe ser especificado si se necesita resistencia rápida).
- Tres partes por volumen de puzolánico (natural o artificial) o cal.
- Agua para obtener la fluidez necesaria.
- Aditivos (Si requieren por clima o condiciones especiales locales).

No se debe aplicar esta mezcla en temperaturas ambientales menores de 10 °C.

Por la variación en los materiales, el contratista debe ser obligado a proporcionar los resultados de las pruebas de laboratorio mostrando las propiedades químicas y físicas del material, así como la fuerza de compresión (en uno, tres y siete días), contracción y expansión observadas y el tiempo de colocación inicial.

Procedimientos para la estabilización de losas.- Después de que se localizan las áreas específicas de estabilización de losas, se puede comenzar su reparación. El primer paso es la localización del sitio para las perforaciones y la definición de su profundidad. La

secuencia de perforaciones puede variar dependiendo de los resultados obtenidos durante la ejecución del trabajo.



Para huecos en losas de acercamiento y alejamiento de una junta o fisura

Figura 4.38 Esquema de Perforaciones

(fuente: Normas de conservacion de carreteras “secretaria de comunicaciones y transporte”)

Técnicas de perforación.- En los sitios previamente ubicados, se perforaran orificios verticales, redondos, con diámetro no mayor de 5 cm. La perforación se realizara con una presión descendente no mayor de 9.2 Kg/cm², con los cuidados necesarios para no causar roturas en la losa. La perforación de 5 centímetros de diámetro se realiza con un extractor de corazones, penetrando más allá del fondo de la losa cuando una sub-base granular se presente. Si la sub-base está estabilizada (con cemento o asfalto) el pavimento deberá ser perforado hasta el fondo de la sub-base. Frecuentemente los huecos existen debajo de la sub-base estabilizada y es importante que éstos se rellenen.

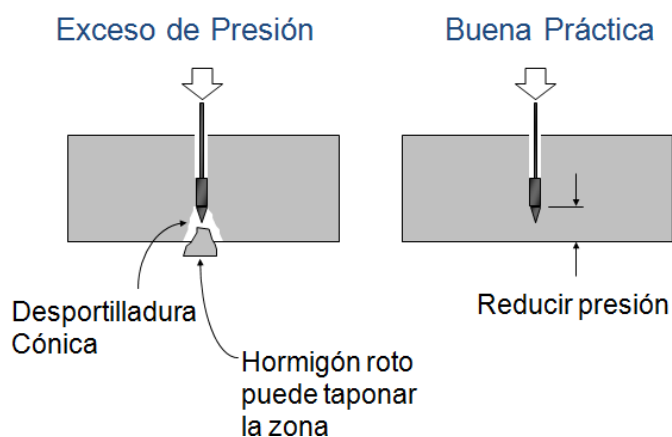


Figura 4.39 Reducción de presión cerca de la base

(fuente: Normas de conservacion de carreteras “secretaria de comunicaciones y transporte”)

Perforadores para inyecciones

- Perforadores de percusión neumáticos
- Perforadores de percusión hidráulicos
- Perforadores para roca (<45 lb [20 kg])
- Diámetros pequeños



Foto 4.36 Perforación para inyección

(Fuente: Curso de restauracion IBCH)

Buena práctica con perforaciones:

- Revisar constantemente la presión.
- Reducir la presión cerca de la base de la losa.
- Revisar cambios en el sonido de la perforación.
- Asegurar que el tamaño de la perforación es apropiado para el equipo de inyección

Una vez perforados los orificios y antes de proceder a la inyección de la lechada, se insertara un tubo con aire a presión, para eliminar todo el polvo y desechos producto de la perforación, para permitir el pasaje de la lechada, y se limpiara cada uno de los orificios.

Inyección de la lechada.- El proceso de bombeo puede variar considerablemente. Se requiere mucho cuidado durante la inyección del mortero. El propósito es estabilizar la losa rellenando los huecos existentes con mortero y no levantar la losa.

El levantamiento de losas causa la creación de nuevos huecos, el sobre-esfuerzo de la losa y, eventualmente, agrietamiento y fracturación. Las especificaciones del proyecto deben permitir el levantamiento de la losa por no más de 3 mm, para cualquiera de sus bordes, por lo tanto, será necesario un dispositivo para monitorear el levantamiento.

Se requerirá el bombeo de lechada en todos los hoyos. Se asegurará la boquilla de la manguera de descarga en el orificio de modo que se proporcione un sellado adecuado para mantener la presión de la lechada debajo de la losa. El extremo de la boquilla no se extenderá por debajo del cimientado de hormigón. El bombeo proseguirá en un orificio hasta que la lechada fluya por otros hoyos, juntas o grietas, o hasta que la losa comience a elevarse excesivamente. Otro indicio de que debe suspenderse el enlechado es el levantamiento rápido de la losa o que haya un levantamiento de la zona adyacente. Será necesario un levantamiento mínimo de la losa para introducir la lechada en las cavidades y huecos existentes, pero ese levantamiento no deberá exceder un movimiento acumulativo total de 1,3 milímetros para cualquier losa medida en el borde exterior de la esquina de la junta. Durante el bombeo, se vigilarán estrechamente los dispositivos de medición de la lechada y del levantamiento, para evitar presiones excesivas de bombeo que sobrepasen 0,7 MPa. No se permitirá tapar los hoyos durante las operaciones de inyección de la lechada.



Foto 4.37 Proceso de inyección de la lechada

(Fuente: Curso de restauración IBCH)

Durante la inyección, se medirá la elevación que sufra la losa, mediante la colocación de una viga equipada con un micrómetro considerando:

- La viga será colocada cuidadosamente para asegurar las lecturas del micrómetro sean precisas. El micrómetro se colocara sobre la losa que este estabilizado cerca del punto de inyección y soporte de la viga se ubicara fuera de dicha losa, lo suficientemente lejos para evitar que dicho soporte suba con los movimientos de la losa.
- En pavimentos con juntas se aceptara que la losa se levante hasta 6 mm, respecto a una línea de referencia que permanezca fija, en pavimentos con refuerzo continuo dicha elevación será de 3 mm.
- Si como consecuencia de la estabilización se produce un desnivel entre losas que sobrepase los valores indicados, se deberá renivelara mediante fresado. Si por las mismas causas se producen desniveles de más de 30 mm, la losas de mayor elevación será removida y remplazada.

Evaluación de la estabilización.- Después de 48 horas de terminada la estabilización de cada losa, se obtendrán sus deflexiones en las juntas transversales, medidas con viga Benkelman y un vehículo lastrado con 8.2 ton, en su eje trasero, conforme a la norma ASTM D 4695 y considerando:

- El extremo móvil de viga Benkelman se colocara sobre la losa, en su orilla exterior, alineada la viga con un ángulo de 45° respecto a la orilla de la losa, como se muestra en la figura.
- Una vez colocada la viga en la posición de medición, se ajustaran los micrómetros en (0) y se colocara el vehículo lastrado para la aplicación de carga, de tal forma que el centro de su eje quede aproximadamente a 30 cm por detrás de la junta y a 30 cm de la orilla del pavimento.
- Con el vehículo en posición, se tomara la lectura de los micrómetros. Hecho lo anterior, el vehículo será desplazado aproximadamente 30 cm, por delante de la junta, manteniendo la misma distancia a la orilla del pavimento que en la posición anterior, y se tomara nuevamente la lectura de los micrones.
- Se tomaran las medidas entre las 0:00 horas y las 10:00 cuando exista evidencia de que las losas no estén trabadas como consecuencia de su expansión térmica.

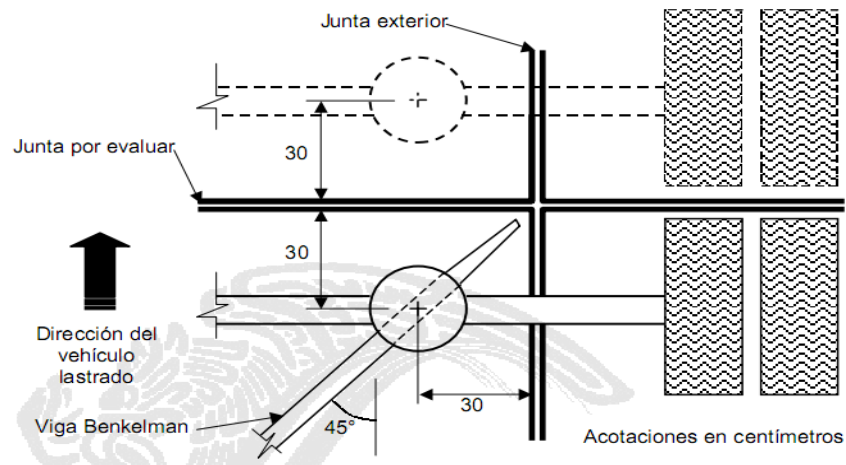


Figura 4.0 Posición del equipo para la evaluación de la estabilización

(fuente: Normas de conservación de carreteras “secretaría de comunicaciones y transporte”)

Si la deflexión es mayor a 0.5 mm, se repetirá el proceso de estabilización.

Si después de haber ejecutado los trabajos de estabilización de la losa tres veces, se siguen obteniendo deflexiones por arriba de la tolerancia especificada, será necesario aplicar otro procedimiento, incluyendo el remplazo de la losa.

Acabado.- Tan pronto se concluya la evaluación de la estabilización, se retirará toda la lechada de los orificios en toda la profundidad de la losa y se rellenarán todas las perforaciones utilizando mortero de cemento de fraguado rápido y arena, o cualquier otro material de bacheo de fraguado rápido. Enrasando su superficie con la original de la losa. Reparando los orificios rellenados que se desmoronen o que resulten dañados.

4.3.5. Fresado diamante de la superficie de rodadura

Es el conjunto de actividades que se realizan con un equipo especial para eliminar las deformaciones superficiales producidas por una construcción deficiente de la carpeta de concreto hidráulico o bien por el desnivel entre las juntas o grietas de las losas provocado por el paso de los vehículos, a fin de restablecer o mejorar las características de comodidad y seguridad de la superficie de rodadura.

El procedimiento elimina substancialmente las irregularidades creadas por el escalonamiento de juntas y por las deformaciones originadas por los gradientes térmicos, y/o durante la construcción, así como también aumenta la fricción entre neumáticos y

pavimento. No aumenta la capacidad estructural del pavimento pero, al minimizar los efectos dinámicos de las cargas, permite que la estructura soporte un número mayor de sollicitaciones durante el resto de su vida útil, que las que aceptarían si no se hubiera fresado.

El fresado es una operación que se debe ejecutar una vez terminadas las otras actividades tendientes a restaurar el pavimento, salvo el resellado de juntas y grietas que se debe realizar con posterioridad a aquél.

Esta es la técnica recomendada ante las siguientes fallas:

- Escalonamiento en juntas y fisuras
- Rugosidades de la construcción
- Superficie del hormigón pulida
- Nivel de ruido inaceptable
- Deformaciones permanentes hacia la parte superior
- Ahuellamiento causado por ruedas con clavos
- Pendiente transversal inadecuada

Análisis de información del pavimento.- Para poder realizar una correcta aplicación de esta técnica, se requiere de ciertos datos necesarios para su análisis y así determinar la mejor manera de seguir el procedimiento para cada caso, entre los datos más importantes necesarios sería los siguientes:

- Tipo de pavimento y año de construcción
- Fuentes de agregados, además de su tamaño y dureza.
- Espaciamiento de juntas transversales
- IRI del pavimento.
- Fallas presentes (alabeo, ahuellamiento, parches, etc.)
- Cantidades y ubicación de reparaciones de espesor parcial y completo

Equipo de fresado.- El fresado se ejecuta con una máquina autopropulsada especialmente diseñada para suavizar y dar una textura adecuada a la superficie. La distancia entre ejes de apoyo del equipo no debe ser inferior a 3,60 m, debiendo disponer de un eje tándem direccional al frente y de ruedas traseras adecuadas para circular sobre la superficie recién tratada. El eje de la cabeza fresadora no debe estar a más de 0,90 m por delante del centro de las ruedas traseras.

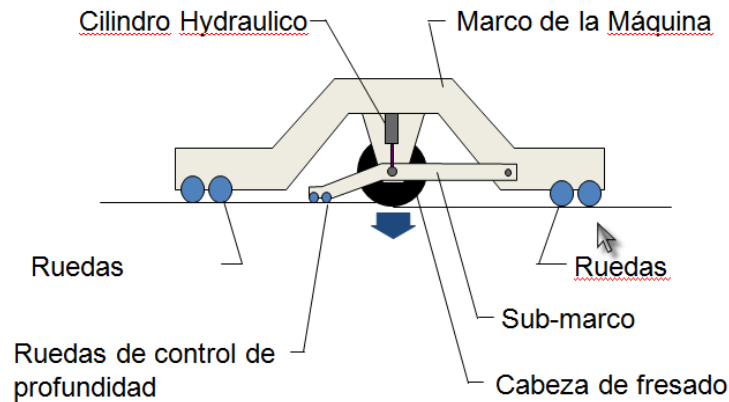


Figura 4.41 Componentes Básicos de la máquina de fresado
(Fuente: Curso de restauración de pavimentos rígidos del IBCH)

Instalación del cabezal de fresado.-

- No alinear segmentos de discos para evitar vibración.
- Seleccionar espaciamiento entre en función de la dureza del agregado

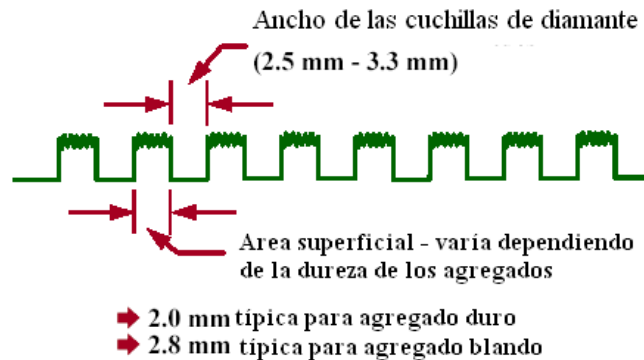


Figura 4. 42 Disposición de discos de corte en el cabezal de fresado
(Fuente: selección de tratamientos y de estrategias de rehabilitación)

Operación de la máquina de fresado.- El equipo debe fresar como mínimo 0,90 m de ancho por pasada, sin provocar saltaduras en los bordes de las juntas, grietas o en otros lugares. Debe ser revisado periódicamente para asegurarse que está trabajando adecuadamente; en especial se deberá comprobar la redondez de las ruedas cortantes del equipo fresador. No se debe operar con un equipo que presente defectos en este aspecto.

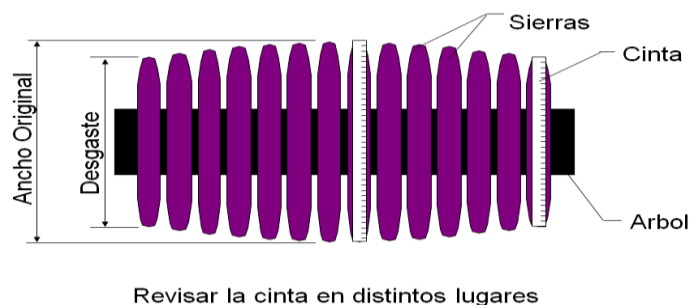


Figura 4.43 Revisión del desgaste del cabezal

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

El fresado se ejecutará de manera que produzca o mantenga siempre una pendiente transversal hacia el exterior de las pistas en tratamiento. Las pistas de aceleración, frenado u otras adyacentes a la que se está cepillando deberán tratarse, como mínimo, en toda la longitud necesaria para asegurar el drenaje de la pista principal.

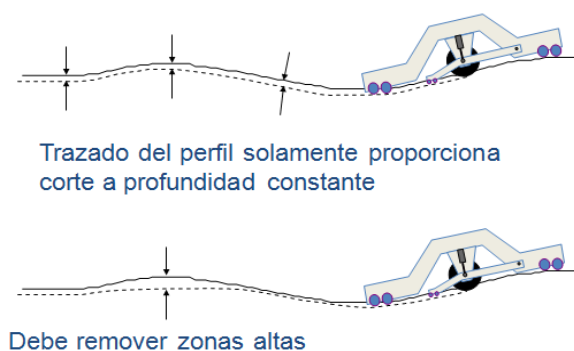


Figura 4.44 perfil de fresado

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

El fresado debe ejecutarse de manera que las superficies adyacentes a una junta o grieta queden en el mismo plano. El objetivo del trabajo es eliminar todos los escalonamientos existentes en juntas y grietas, mejorar la textura superficial y disminuir substancialmente la rugosidad del pavimento.

El tratamiento deberá afectar como mínimo al 95% de la superficie, la que deberá quedar perfectamente lisa y de apariencia uniforme, con una textura formada por ranuras longitudinales paralelas al borde del pavimento. Los montes de las corrugaciones serán entre 2,4 y 0,8 mm más altos que los valles, debiendo existir aproximadamente entre 175 y

188 ranuras uniformemente repartidas por metro. El número de ranuras por metro para producir el efecto antes indicado dependerá de las características del agregado de los hormigones, y deberá establecerse mediante pruebas. No se usarán ranuradores cuyo espaciamiento impida cumplir con los requisitos exigidos.

Cuando, por cualquier causa, sea necesario repasar el fresado, se deberá tratar cada pista en todo su ancho.

Evaluación de la calidad de la rodadura.- Concluido el fresado, se obtendrá el índice de perfil en cada cien (100) metros, para cada carril de circulación conforme a la norma ASTM E 1274, medido a lo largo de la línea imaginaria ubicada a noventa más menos veinte (90 ± 20) centímetros de la orilla exterior del carril por evaluar, para verificar que el índice de perfil sea inferior a catorce (14) centímetros por kilómetro o menos.

Además se debe de tomar referencia al perfil antes y después del fresado verificando que se obtenga un 65% de mejoramiento sobre el perfil anterior.

Condiciones especiales.-

- Junta de expansión



Figura 4.45 caída en junta de expansión

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

- Losas deflectadas

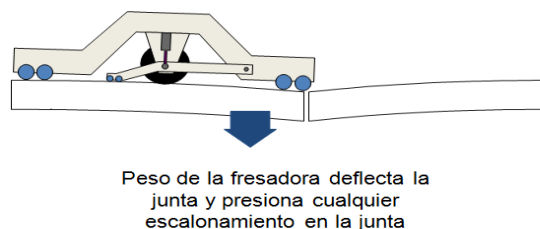


Figura 4.46 Losas deflectadas por debajo de las máquinas fresadoras

(Fuente: Curso de restauracion de pavimentos rigidos del IBCH)

CAPITULO V

APLICACIÓN PRÁCTICA

EVALUACION DE LAS METODOLOGIAS PARA LA REPARACION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO APLICADO EN EL PROYECTO

“PAVIMENTO RIGIDO DE CARAPARI”

5.1. Descripción del proyecto

El proyecto nace debido a la necesidad de la localidad, de contar con calles pavimentadas ya que estas eran de tierra y ocasionaban molestias y problemas de salud a los habitantes además de la necesidad de fomentar el desarrollo, los grandes problemas radicaban en que en época de lluvias las calles se conservaban intransitables por el barro debido a la falta de alcantarillado.

En la mayor parte de las calles la capa de rodadura está conformada por el material natural del terreno, material que no cumple las condiciones técnicas adecuadas, está conformado por arcillas y suelos limo arcillosos.

Localización y ubicación de la vía bajo análisis

La aplicación práctica del proyecto tuvo lugar en la localidad de Carapari, Segunda Sección de la Provincia Gran Chaco, ubicada al sur-oeste de esta provincia, entre las coordenadas 21°10'39" - 22°19'58" de latitud sur y los meridianos 63°33'34" - 64°18'24" de longitud oeste, situado a 760 m.s.n.m. de altitud, a 32 Km. De la capital de la provincia de Yacuiba y a 232 Km. De la capital del Departamento – Ciudad de Tarija.

El proyecto “pavimento rígido Carapari” fue ejecutado por la empresa CGP (Construcciones Generales Palacios) y supervisada por la empresa consultora SICA (Servicios de Ingeniería Civil y Arquitectura) en este se contempló varios módulos:

- MÓDULO 01.- Alcantarillado Pluvial
- MÓDULO 02.- Cordones de H°S°
- **MÓDULO 03.- Pavimento Rígido**
- MÓDULO 04.- Obras de Arte (Alcantarillas)

- MÓDULO 05.- Complementación y Mejoramiento Red de Agua Potable
- MÓDULO 06-1.- Complementación y Mejoramiento Red de Alcantarillado (Cámaras)
- MÓDULO 06-2.- Red de Colectores
- MÓDULO 06-3.- Cámaras Conexiones Domiciliarias
- MÓDULO 07.- Indemnización de Construcciones

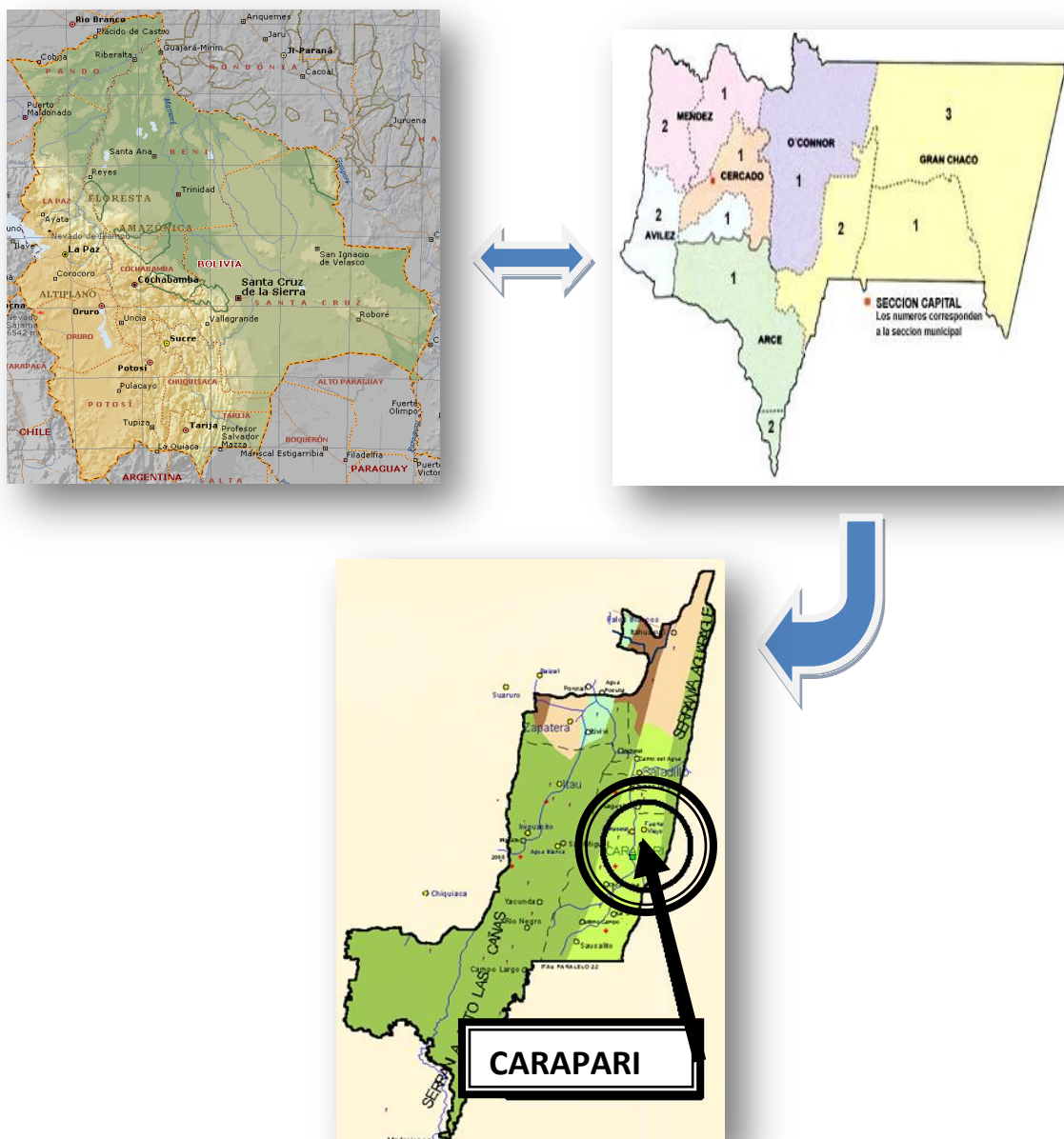


Figura 5.1 Localización y Ubicación de la vía (fuente: elaboración propia)

Siendo el más relevante para este estudio, el módulo de Pavimentos Rígido, y sobre todo las reparaciones que se practicaron ante la presencia de fallas en el pavimento.

La construcción del pavimento se realizó en tres puntos importantes en los que se describen a continuación:

- Avenida a Tarija (Sur) doble vía de 23 m. de ancho
- Avenida a Yacuiba doble vía de 17 m. de ancho
- Área urbana con anchos de 7.0 – 8.5 - 12 m. de ancho

Se pavimentaron en total de 59 tramos que a continuación se detallan para un mejor entendimiento:

Tabla 5.1 Tramos pavimentados

Tramos			Prog. Inc.	Prog. Fin.	Long.	OBS.
AVENIDA SUR						
TRAMO EL COMUN 01			0.00	60.00	60.00	Completado
TRAMO EL COMUN 02			60.00	749.13	689.13	Completado
ROTONDA			749.13	876.34	127.22	En estudio
AV. FRAY QUEBRACHO			876.34	1,119.31	242.97	Completado
AVENIDA NORTE						
AV. NORTE TRAMO 01			0.00	200.00	200.00	En estudio
AV. NORTE TRAMO 02			200.00	340.00	140.00	Completado
AV. NORTE TRAMO 03			340.00	620.00	280.00	Completado
AV. NORTE TRAMO 04			620.00	890.00	270.00	En estudio
AREA URBANA						
6 de agosto	Ballivián	E. Méndez	18.61	105.56	86.95	Completado
6 de agosto	E. Méndez	Comercio	123.35	208.60	85.25	Completado
6 de agosto	Comercio	Campero	228.28	309.60	81.32	Completado
6 de agosto	Campero	Bolívar	327.68	409.09	81.41	Completado
6 de agosto	Bolívar	Junín	428.15	515.44	87.29	Completado
6 de agosto	Junín	L. Sánchez	532.72	611.12	78.40	Completado
6 de agosto	L. Sánchez	Edmundo Cassal	628.53	729.25	100.72	Completado
6 de agosto	Edmundo Cassal	Av. Fray quebracho	746.34	837.38	92.04	Completado
Pando	Ballivián	E. Méndez	18.17	98.10	79.93	Completado
Pando	E. Méndez	Comercio	115.67	203.03	87.36	Completado
Pando	Comercio	Campero	228.20	297.50	69.30	Completado
Pando	Campero	Bolívar	321.28	404.86	83.58	Completado
Pando	Bolívar	Junín	423.37	511.11	87.74	Completado
Pando	Junín	L. Sánchez	528.32	606.47	78.15	Completado
Pando	L. Sánchez	Edmundo Cassal	624.01	725.24	101.23	Completado
Independencia	Ballivián	E. Méndez	17.99	95.83	77.84	Completado

Independencia	E. Méndez	Comercio	113.45	198.95	85.50	Completado
Independencia	Comercio	Campero	222.73	292.35	69.62	Completado
Independencia	Campero	Bolívar	319.08	402.37	83.29	Completado
Independencia	Bolívar	Junín	421.71	507.39	85.68	Completado
Independencia	Junín	L. Sánchez	524.50	600.90	76.40	Completado
25 de mayo	Bolívar	Campero	19.32	104.66	85.34	Completado
25 de mayo	Campero	Comercio	122.36	203.02	80.66	Completado
25 de mayo	Comercio	E. Méndez	221.83	303.93	82.10	Completado
25 de mayo	E. Méndez	Ballivián	326.19	396.82	70.63	Completado
Sucre	Bolívar	Campero	23.92	105.50	81.58	Completado
Sucre	Campero	Comercio	127.34	205.86	78.52	Completado
Ballivian	6 de Agosto	Pando	18.66	101.34	82.68	Otros tramos
Ballivian	Pando	Independencia	121.06	203.48	82.42	Otros tramos
Ballivian	Independencia	25 de Mayo	221.70	363.70	142.00	Otros tramos
E. Méndez	6 de Agosto	Pando	17.72	100.98	83.26	Otros tramos
E. Méndez	Pando	Independencia	119.65	202.91	83.26	Otros tramos
E. Méndez	Independencia	25 de Mayo	220.15	334.27	114.12	Completado
Comercio	6 de Agosto	Pando	17.28	99.56	82.28	Completado
Comercio	Pando	Independencia	125.77	192.04	66.27	Completado
Comercio	Independencia	25 de Mayo	217.01	312.94	95.93	Completado
Comercio	25 de Mayo	Sucre	331.14	472.05	140.91	Completado
Campero	6 de Agosto	Pando	17.73	101.63	83.90	Completado
Campero	Pando	Independencia	126.19	192.57	66.38	Completado
Campero	Independencia	25 de Mayo	219.18	309.61	90.43	Completado
Campero	25 de Mayo	Sucre	327.29	443.81	116.52	Completado
Bolívar	H. del chaco	6 de Agosto	25.54	105.51	79.97	Completado
Bolívar	6 de Agosto	Pando	123.08	204.93	81.85	Completado
Bolívar	Pando	Independencia	224.14	305.89	81.75	Completado
Bolívar	Independencia	25 de Mayo	325.27	410.98	85.71	Completado
Bolívar	25 de Mayo	Sucre	430.00	510.54	80.54	Completado
Bolívar	Sucre	s/n	534.46	620.00	85.54	Completado
Junín	6 de Agosto	Pando	17.05	97.33	80.28	Completado
Junín	Pando	Independencia	115.99	200.02	84.03	Completado
L. Sánchez	6 de Agosto	Pando	17.60	97.11	79.51	Completado
L. Sánchez	Pando	Independencia	115.91	200.79	84.88	Completado
E. Cassal	6 de Agosto	Pando	17.01	98.76	81.75	Completado

(Fuente: Informe final y de cierre “Pavimento Rígido Carapari” elaborado por la consultora SICA)

Tramos que no llegaron a ser pavimentados

- Intersección de la Av. Fray quebracho con la Av. A Yacuiba Prog. 0+046.4 hasta 0+080
- Av. Norte (salida a Tarija) Prog. 0+100 hasta Prog. 0+190

- Av. Norte (salida a Tarija) Prog. 0+750 hasta Prog. 0+939.2

Nuevos tramos

- Calle Luis Sánchez entre Gral. Pando y Av. Circunvalación (Zona Mercado)
- Calle Luis Sánchez entre Independencia y 25 de Mayo
- Calle Independencia entre Luis Sánchez y Av. Fray Quebracho
- Calle Bolívar entre Sucre y Av. Circunvalación (Zona Ex corregimiento).
- Calle Campero entre Gral. Pando y Av. Circunvalación. (zona sur)
- Calle Comercio entre Gral. Pando y Av. Circunvalación (zona sur)
- Calle Campero entre Sucre y Av. Circunvalación (zona norte)
- Calle Sucre entre Comercio y E. Méndez

Tramos ampliados:

- Empalme de la calle 25 de Mayo con a Av. Circunvalación
- Empalme de la calle Independencia con a Av. Circunvalación
- Empalme de la calle Gral. Pando con a Av. Circunvalación
- Empalme de la calle 6 de agosto con a Av. Circunvalación

Cada tramo anteriormente descrito cuenta con 31 Intersecciones en el área central, las cuales fueron completadas.

Tabla 5.2. Intersecciones

Intersecciones			Observaciones
INT 00	6 de Agosto	27 de Mayo	Completado
INT 01	6 de Agosto	E. Cassal	Completado
INT 02	6 de Agosto	L. Sánchez	Completado
INT 03	6 de Agosto	Junín	Completado
INT 04	6 de Agosto	Bolívar	Completado
INT 05	6 de Agosto	Campero	Completado
INT 06	6 de Agosto	Comercio	Completado
INT 07	6 de Agosto	E. Méndez	Completado
INT 08	6 de Agosto	Ballivián	Completado
INT 09	Pando	E. Cassal	Completado
INT 10	Pando	L. Sánchez	Completado

INT 11	Pando	Junín	Completado
INT 12	Pando	Bolívar	Completado
INT 13	Pando	Campero	Completado
INT 14	Pando	Comercio	Completado
INT 15	Pando	E. Méndez	Completado
INT 16	Pando	Ballivián	Completado
INT 17	Independencia	L. Sánchez	Completado
INT 18	Independencia	Junín	Completado
INT 19	Independencia	Bolívar	Completado
INT 20	Independencia	Campero	Completado
INT 21	Independencia	Comercio	Completado
INT 22	Independencia	E. Méndez	Completado
INT 23	Independencia	Ballivián	Completado
INT 24	25 de Mayo	Bolívar	Completado
INT 25	25 de Mayo	Campero	Completado
INT 26	25 de Mayo	Comercio	Completado
INT 27	25 de Mayo	E. Méndez	Completado
INT 28	25 de Mayo	Ballivián	Completado
INT 29	Sucre	Bolívar	Completado
INT 30	Sucre	Campero	Completado
INT 31	Sucre	Comercio	Completado

(Fuente: Informe final y de cierre “Pavimento Rígido Carapari” elaborado por la consultora SICA)

Para una mejor orientación sobre los tramos pavimentados referirse al **Anexo (plano de tramos pavimentados)**.

5.2. Definición del área de estudio

El área de estudio estará conformada por las avenidas, viendo que estas serían más significativas debido al tipo de tráfico al que está sometido representando un reto ante todo para verificar el desempeño de las reparaciones y su comportamiento con el concreto circundante y las condiciones ambientales.

Los tramos pavimentados se ubican entre las siguientes progresivas, tanto en la avenida SUR (salida a Yacuiba) Prog. 0+000 a 1+037 como la avenida NORTE (salida a Tarija) Prog. 0+000 a 0+560

- Avenida Norte (Salida a Tarija) doble vía de 23 mts. de ancho
 - ✓ Dimensiones de las losas
 - Ancho= 3.75m
 - Largo= 4.50m
 - ✓ Dimensiones del Paquete estructural:
 - SUBRASSANTE mejorada= 0.10 m
 - BASE =0.20m
 - RODADURA H°S°=0.20m
- Avenida Sur (Salida a Yacuiba) doble vía de 17 mts. de ancho
 - ✓ Dimensiones de las losas
 - Ancho= 3.50m
 - Largo= 4.50m
 - ✓ Dimensiones del Paquete estructural:
 - SUBRASSANTE mejorada=0.10m
 - BASE =0.20m
 - RODADURA H°S°=0.20m
- Acero de refuerzo
 - ✓ Junta Longitudinal c/Acero Corrugado D=1/2"
 - ✓ Junta Transversal Acero Liso D=1"

5.3. Evaluación del área de estudio

Primero se debe de especificar que la causa por la cual se procedió a evaluar los tramos pavimentados fue, ante la aparición de fisuras en varias losas y tramos, siendo indispensable para el correcto desempeño del pavimento, tanto estructural como funcional, el determinar las causas que originaron este tipo de fallas, evaluar las mismas en cuanto a su severidad y extensión, para poder con esto analizar las posibles y mejores metodologías de reparación que minimicen o eliminen en lo posible el origen de las fallas y permitan restaurar el pavimento de manera efectiva y económica.

Para esto se procedió de acuerdo a lo establecido en el capítulo IV en la sección 4.2 evaluación de los pavimentos de concreto.

a) Recorrido de Obra: Para tener idea del estado actual del pavimento de las vías estudiadas se recorrieron estas observando que las mismas presentaban grietas (transversales, longitudinales y diagonales o de esquina), caracterizadas por presentarse de forma aislada en varias áreas de los tramos de las avenidas además se pudo verificar que las dimensiones de las losas eran las que se establecieron en el diseño.

Concluyendo luego de haber realizado el recorrido de las dos avenidas, que estas presentan una condición regular pues solo presentan deterioros en zonas aisladas del pavimento, las mismas deben ser reparadas rápida y oportuna a fin de garantizar que el pavimento cumpla satisfactoriamente el periodo de vida útil estipulado de 20 años, este periodo no será garantizado si es que no se repara las fallas ya que estas pueden generar mayores deterioros, que si se decidiesen repararlas más adelante ocasionarían un mayor gasto económico.

Mediante la correcta ejecución de las metodologías, se buscara restaurar el pavimento de Carapari a una condición cercana o mejor a la original, ya que las fallas que presenta la vía son localizadas, siendo necesario solo reparar estas áreas, evitando la necesidad de efectuar recubrimientos en toda la vía (sobrecarpetas).

b) Revisión de datos de diseño y construcción del Pavimento

Los siguientes aspectos son datos que nos brindó la alcaldía de Carapari además de la empresa constructora “Construcciones Generales Palacios” CGP y la empresa consultora del proyecto “Servicios de Ingeniería Civil y arquitectura” SICA.

Siendo esta la información necesaria para poder plantear una hipótesis acertada en lo posible de las causas que originaron las fisuras prematuras en la superficie de rodadura de las dos avenidas.

- Características geotécnicas de las capas de soporte del pavimento de concreto:

La siguiente figura establece los perfiles geotécnicos de ambas avenidas previo a la ejecución del pavimento los cuales son resultado de un análisis de laboratorio de suelos los cuales se realizaron por la empresa constructora CGP, con los cuales podemos ratificar que las

Observación: puesto que él se presentaba material no adecuado se decidió el realizar un mejoramiento de la base a fin de subsanar este inconveniente en el diseño del pavimento.



(Fuente: Laboratorio de la empresa constructora CGP)

(Fuente: Laboratorio de la empresa constructora CGP)

Observación: puesto que él se presentaba material no adecuado se decidió el realizar un mejoramiento de la base a fin de subsanar este inconveniente en el diseño del pavimento.

- Consideraciones de diseño del pavimento de concreto:

- Modulaci3n de losas (revisi3n de las dimensiones)

Todas presentan un m3dulo o relaci3n entre ancho y largo de las losas que cumplen con las recomendaciones te3ricas establecidas:

$$L/A = 4.5/3.75 = 1.2 \leq 1.5 \text{ OK!!!}$$

$$L/A = 4.5/3.5 = 1.28 \leq 1.5 \text{ OK!!!}$$

$$L = 4.5 \text{ m} \leq 25 \cdot .2 = 5 \text{ m OK!!!}$$

- propiedades mec3nicas especificadas

Para el proyecto se estableci3 una resistencia caracter3stica m3nima para el concreto que se dispondr3a para las losas igual a: $f_{ck}=180$ misma que se verifico mediante el ensayo de compresi3n simple de probetas con material extra3do a la hora del vaciado brindado los siguientes resultados:



Foto 5.1 Rotura de probetas a compresi3n simple.

(Fuente: Laboratorio de la empresa constructora CGP)

PROYECTO: Pavimento Rígido Calles Carapaní
UBICACIÓN: Comercio
TRAMO: Entre Independencia y Sucre

C. G. P. Srl.

DATOS DE ENSAYO

[illegible]

CONSERVACIONES: ESTAS RESISTENCIAS FUERON OBTENIDAS EN CONDICIONES OPTIMAS

CHIEF OF LABORATORY

RESIDENTE DE OBRAS

Figura 5.3 Resultados del ensayo de rotura de probetas a compresión simple.

(Fuente: Laboratorio de la empresa constructora CGP)

Concluyendo que se cumplió con la resistencia mínima establecida.

- **Rotura de viga resistencia a flexión**



***Foto 5.2 Ensayo de rotura de viga a flexión con carga en los tercios de la luz.
(Fuente: Laboratorio de la empresa constructora CGP)***

ENSAYO DE ROTURA DE VIGA A FLEXION CON CARGA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ - ASTM C 78-84

PROYECTO:	PAVIMENTO RIGIDO CARAPARI	EMPRESA:	CONSTRUCTORA " C.G.P. "
CALLE:	25 de Mayo	FECHA :	20/12/2011
TRAMO:	Entre Campero y Bolivar		

DATOS DE ENSAYO

Parte de la Estructura: CARPETA DE HORMIGON RIGIDA
Nº de probetas preparadas: 2
Tipo de cemento: PORTLAND PUENTE IP-30 ESPECIAL
Tipo de Arido: CANTO RODADO (Rio Carapani)
Tipo de aditivo y cantidad:

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

Nº de Probetas	VACIADO		TEMPERATURA °C		VIGAS				ENSAYO DE COMPRESION						
	Fecha	Observaciones	Cantidad de cemento /m3	Revenimen to (cm)	Ancho. (cm)	Alto (cm)	Luz libre (Cm)	TIPO DE CEMENTO	Fecha de Rotura	Lectura Dinamomet ro	Edad (dias)	Carga (Kg)	Area (cm ²)	Resisten cia Kg/cm ²	Proyeccion 28 dias Kg/cm ²
viga -01	22/11/2011	Cami Derecho	360	6	15	15	45	PUENTE IP-30 ESPECIAL	20/12/2011	21	28	2500	#####	33.333	-
viga-02	22/11/2011	Cami Derecho	360	6	15	15	45	PUENTE IP-30 ESPECIAL	20/12/2011	23	28	2700	#####	36.000	-

OBSERVACIONES :

Figura 5.4 Resultados del ensayo de rotura de vigas a flexión con carga en los tercios de la luz. (Fuente: Laboratorio de la empresa constructora CGP)

- vida útil =15 años
- Controles de calidad de la producción de los materiales.
 - Dosificación del hormigón:



Foto 5.3 Procedimientos de ensayos para dosificar el concreto.

(Fuente: Laboratorio de la empresa constructora CGP)

Se verificaron los ensayos necesarios para determinar la dosificación adecuada para garantizar el cumplimiento de las especificaciones en cuanto al concreto más que todo para obtener una resistencia característica esperada.

- Granulometría del agregado grueso y fino.- Se verifico la calidad de los agregados, a utilizar de manera que garanticen la resistencia requerida del concreto, para tal causa se realizaron las siguientes prácticas o ensayos de laboratorio en los agregados.

Para este ensayo, se siguieron los pasos establecidos en la NB – 597, AASHTO T-27, ASTM C136

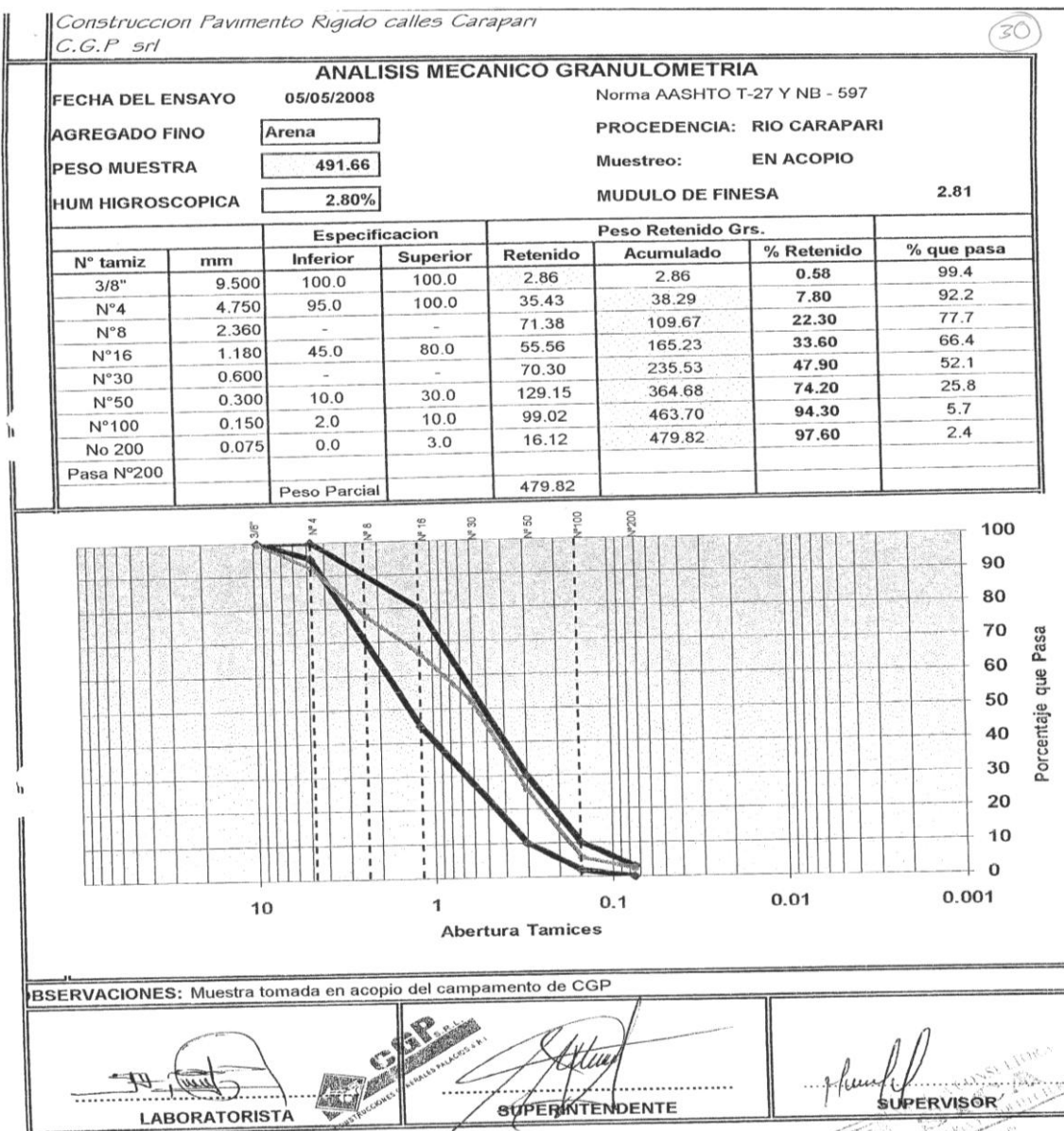
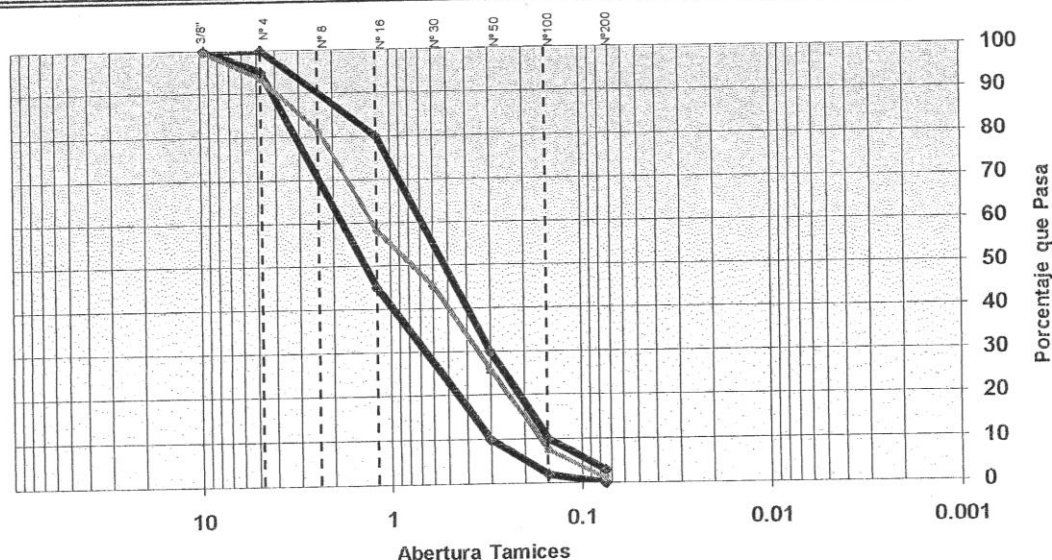


Figura 5.5a Análisis granulométrico de agregados.
(Fuente: Laboratorio de la empresa constructora CGP)

ANÁLISIS MECÁNICO GRANULOMETRIA

FECHA DEL ENSAYO 05/05/2008 Norma AASHTO T-27 Y NB - 597
AGREGADO FINO Arena PROCEDENCIA: RIO CARAPARI
PESO MUESTRA 616.41 Muestreo: EN ACOPIO
HUM HIGROSCOPICA 2.80% MÓDULO DE FINESA 2.89

N° tamiz	mm	Especificación		Peso Retenido Grs.		% Retenido	% que pasa
		Inferior	Superior	Retenido	Acumulado		
3/8"	9.500	100.0	100.0	3.27	3.27	0.53	99.5
N°4	4.750	95.0	100.0	37.63	40.90	6.60	93.4
N°8	2.360	-	-	75.28	116.18	18.80	81.2
N°16	1.180	45.0	80.0	140.67	256.85	41.70	58.3
N°30	0.600	-	-	80.07	336.92	54.70	45.3
N°50	0.300	10.0	30.0	120.84	457.76	74.30	25.7
N°100	0.150	2.0	10.0	111.96	569.72	92.40	7.6
No 200	0.075	0.0	3.0	39.68	609.40	98.90	1.1
Pasa N°200							
		Peso Parcial		609.40			



OBSERVACIONES: Muestra tomada en acopio del campamento de CGP

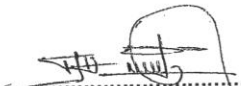
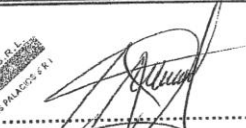
LABORATORISTA  SUPERINTENDENTE  SUPERVISOR 

Figura 5.5b Análisis granulométrico de agregados.
(Fuente: Laboratorio de la empresa constructora CGP)

Construcción pavimento rígido calles carapari
C.G.P srl

ANÁLISIS MECÁNICO GRANULOMETRIA

Norma NB - 597 AASHTO T-27

Fecha del Ensayo 05/05/2008

PROCEDENCIA: RIO CARAPARI

AGREGADO GRUESO DE 1 1/2 " Grava

PESO MUESTRA 12,305.00

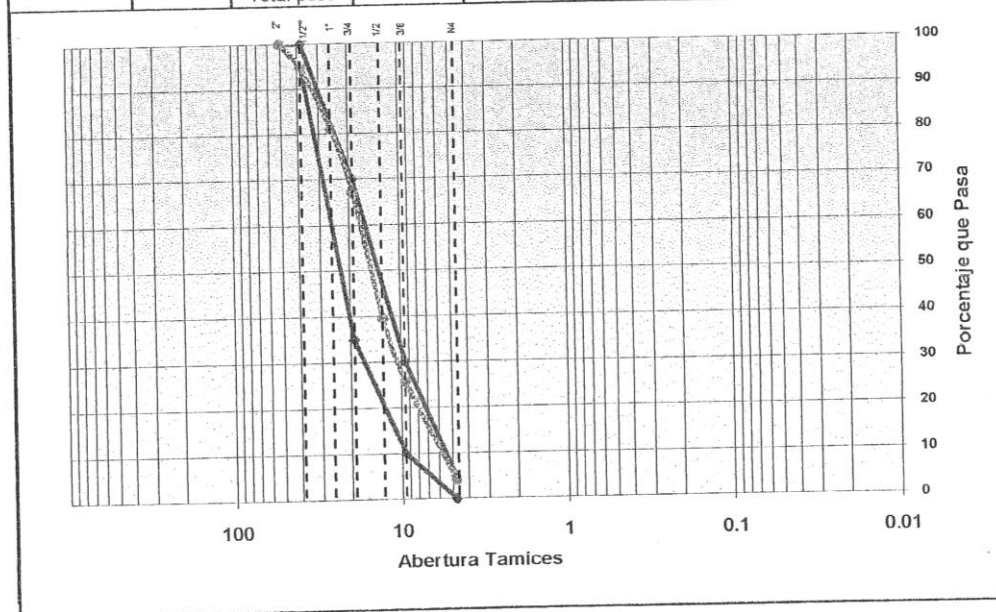
Muestreo: EN ACOPIO

HUM HIGROSCOPICA 1.5

MUDULO DE FINESA 7.08

N° tamiz	mm	Especificacion		Peso Retenido Grs.			% que pasa
		Inferior	Superior	Retenido	Acumulado	% Retenido	
2"	50.80	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.10	95.0	100.0	635.0	635.0	5.2	94.8
1"	25.40	55.0	80.0	1710.0	2345.0	19.1	80.9
3/4"	19.05	35.0	70.0	1732.0	4077.0	33.1	66.9
1/2"	12.70	20.0	40.0	3372.0	7449.0	60.5	39.5
3/8"	9.50	10.0	30.0	1683.0	9132.0	74.2	25.8
No4	4.75	0.0	5.0	2660.0	11792.0	95.8	4.2

Total peso 11792.0



OBSERVACIONES: Muestra tomada en acopio del campamento de CGP

 LABORATORISTA	 SUPERINTENDENTE	 SUPERVISOR
-------------------	---------------------	----------------

Figura 5.5c Análisis granulométrico de agregados.
(Fuente: Laboratorio de la empresa constructora CGP)

Construcción pavimento rígido calles carapari
C.G.P srl

ANÁLISIS MECÁNICO GRANULOMETRÍA

Norma NB - 597 AASHTO T-27

Fecha del Ensayo 05/05/2008

PROCEDENCIA: RIO CARAPARI

AGREGADO GRUESO DE 1 1/2 " Grava

Muestreo: EN ACOPIO

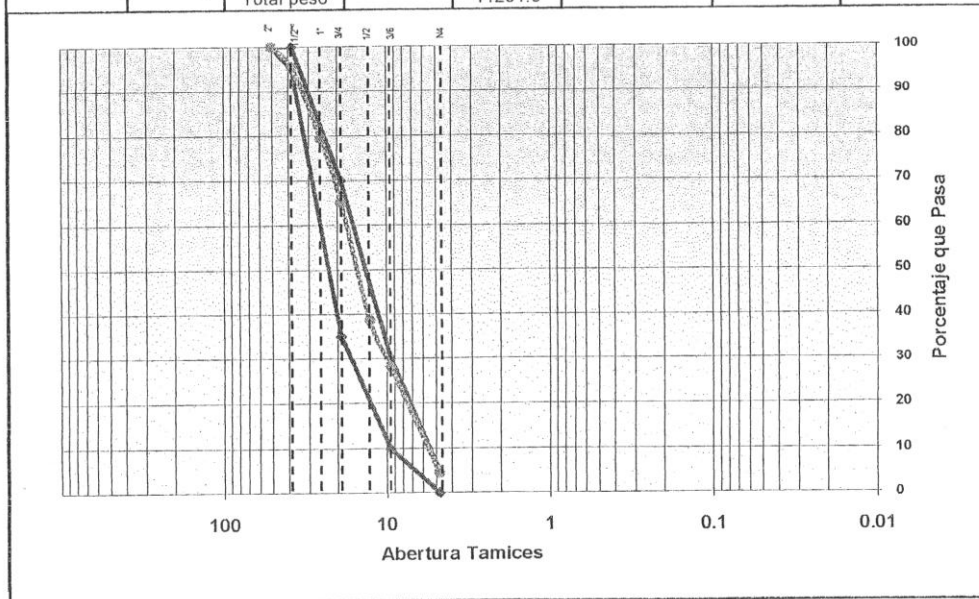
PESO MUESTRA 11,710.00

HUM HIGROSCOPICA 1.5

MODULO DE FINESA 7.07

N° tamiz	mm	Especificación		Peso Retenido Grs.			
		Inferior	Superior	Retenido	Acumulado	% Retenido	% que pasa
2"	50.80	100.0	100.0	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.10	95.0	100.0	527.0	527.0	4.5	95.5
1"	25.40	55.0	80.0	1883.0	2410.0	20.6	79.4
3/4"	19.05	35.0	70.0	1689.0	4099.0	35.0	65.0
1/2"	12.70	20.0	40.0	3095.0	7194.0	61.4	38.6
3/8"	9.50	10.0	30.0	1246.0	8440.0	72.1	27.9
No4	4.75	0.0	5.0	2761.0	11201.0	95.7	4.3

Total peso 11201.0



OBSERVACIONES: Muestra tomada en acopio del campamento de CGP

 LABORATORISTA	 SUPERINTENDENTE	 SUPERVISOR
-------------------	---------------------	----------------

Figura 5.5d Análisis granulométrico de agregados.
(Fuente: Laboratorio de la empresa constructora CGP)

- Controles de calidad de la construcción.
- Densidad en campo.-Este ensayo nos ayudó a determinar que el material utilizado en el mejoramiento de la subrasante, cumple con las especificaciones de compactación, establecidos, brindando una fundación adecuada para el paquete estructural del pavimento.



Foto 5.4 Procedimiento del ensayo de densidad en campo.
(Fuente: Laboratorio de la empresa constructora CGP)

DENSIDAD DE CAMPO

(Metodo del Cono de Arena)

AASHTO T 191 - G1 / ASTM D1556 - G4

PROYECTO: PAVIMENTO RIGIDO CARAPARI
UBICACIÓN: CALLE COMERCIO
FECHA: 06/05/2000
TRAMO #: ENTRE INDEPENDENCIA Y 25 DE MAYO

CARACTERISTICAS DEL MATERIAL	GRANULOMETRIA		LIMITES DE CONSISTENCIA		CLASIFICACION SISTEMA AASHTO
	T-Nº 4		L.L.		
	T-Nº 10		L.P.		
	T-Nº 40		L.P.		
DATOS DE CAMPO					
FECHA DEL ENSAYO	06-may	06-may	06-may		
EXTREMO DEL TRAMO	CARRIL DERECHO	EJE	CARRIL IZQUIERDO		
DISTANCIA DEL EJE (mts)	3.0	0.0	3.0		
COTAS DE NIVEL	SUB BASE	SUB BASE	SUB BASE		
PROGRESIVA	0+213	0+250	0+300		
PESO ESPECIFICO DEL MATERIAL GRUESO	2.5	2.5	2.5		
PESO RETENIDO TAMIZ 3/4"	722.00	730	512		
PROFUNDIDAD DEL HUECO (mts)	0.13	0.13	0.135		
PESO DEL FRASCO ANTES DEL ENSAYO (gr)	6000	6000	6000		
PESO DEL FRASCO DESPUES DEL ENSAYO (gr)	705	1000	912		
PESO ARENA EN EL CONO (gr)	1799	1799	1799		
PESO ARENA EN EL HUECO (gr)	3496	3201	3209		
PESO UNITARIO DE LA ARENA (gr/cm3)	1.463	1.463	1.463		
PESO CORREGIDO	4748	4357	4700		
VOLUMEN DEL MATERIAL RETENIDO 3/4" (cm3)	289	292	205		
VOLUMEN DEL HUECO (cm3)	2357	2158	2218		
VOLUMEN CORREGIDO (cm3)	2069	1866	2013		
PESO TOTAL DE LA MUESTRA HUMEDA (gr)	5470	5087	5212		
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm3)	2.295	2.334	2.335		
DENSIDAD SECA (gr/cm3)	2.182	2.188	2.178		
DATOS DE LABORATORIO					
RECIPIENTE Nº	4	3	8		
PESO MUESTRA HUMEDA+RECIP. (gr)	162.00	223.00	282.00		
PESO MUESTRA SECA+RECIP. (gr)	154.00	209.00	263.00		
PESO RECIPIENTE (gr)	0.00	0.00	0.00		
PESO DEL AGUA (gr)	8.00	14.00	19.00		
PESO MUESTRA SECA (gr)	154.00	209.00	263.00		
HUMEDAD NATURAL DEL SUELO (%)	5.195	6.699	7.224		
DENSIDAD MAXIMA PROCTOR (gr/cm3)	2.205	2.205	2.205		
HUMEDAD OPTIMA DE PROCTOR (%)	6.650	6.650	6.650		
% DE COMPACTACION DEL TERRENO	98.95	99.22	98.75		
OBSERVACIONES:					

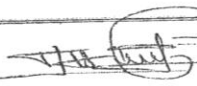
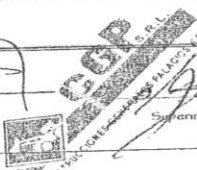
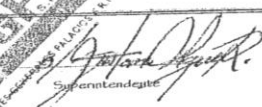
 Laboratorista

 Superintendente
 Supervisor

Figura 5.6 Resultados del ensayo de densidad en campo.
(Fuente: Laboratorio de la empresa constructora CGP)

- Uso que se ha dado a la vía (incremento de cargas con respecto a las de diseño).

El uso o tipo de tráfico en el transcurso de su vida hasta hoy es aquel para el cual fue diseñado es decir para el paso de vehículos pesados como flotas o camiones de gran tonelaje.

c) Inventario de fallas

Para este se siguió lo estipulado en la guía de inspección visual de pavimentos de concreto del ICPC. (Anexos)

Tabla 5.3 Inventario de fallas Av. Sur

Nombre de la vía: Avenida Sur					Levantado por: Wilder Olguín			
Prog.	N° Placa		Dimensiones de la losa		Tipo de deterioro			
					Tipo	Severidad	daño	
	#	Letra	Largo	Ancho			Largo m	Ancho mm
0+045	1	A	4.5	3.5	Transv.	Media	2.85	8
	1	B			Transv.	Media	2.5	6
	2	A			Long.	Alta	6.45	12
	3	A						
	4	A						
	2	B			Esq.	Media	1.83	7
	5	A			Esq.	Media	2.78	4
	6	A			Long.	Alta	3.77	14
	7	A						
	8	A			Transv.	Media	6.78	8
	9	A			Esq.	Media	5.42	7
	3	B			Long.	alta	22.68	16
	4	B						

	5	B						
	6	B						
0+180	7	B						
0+469.5	1	C			Long.	Alta	19.87	13
	2	C						
	3	C						
	4	C			Transv.	Media	3.32	8
	1	D			Transv.	Media	2.54	6
	5	C			Transv.	Alta	1.58	11
0+569.5	2	D			Transv.	Alta	2.65	13
0+689.5	8	B			Long.	Alta	16.42	18
	9	B						
	10	B						
0+709.5	11	B						
0+689.5	6	C			Esq.	Media	2.88	7
	3	D			Transv.	media	3.10	6
	7	C			Long.	Alta	6.12	12
	8	C						
	4	D			Long.	Alta	4.67	11
	5	D						
	9	C			Transv.	Media	3.16	9
	10	C			Long.	Alta	13.54	12
	11	C						
	12	C						
	13	C						
	6	D			Esq.	Alta	2.38	13
	7	D			Transv.	Alta	6.35	16
	14	C						
	8	D			Long.	Alta	8.17	15
1+037.0	9	D						

(Fuente: Elaboración propia)

Tabla 5.4 Inventario de fallas Av. Norte

Nombre de la vía: Avenida Norte					Levantado por: Wilder Olguín			
Prog.	N° Placa		Dimensiones de la losa		Tipo de deterioro			
					Tipo	Severidad	daño	
	#	Letra	Largo	Ancho			Largo m	Ancho mm
0+023.5	1	E	4.5	3.75	Transv.	Media	2.63	8
	2	E			Transv.	Media	2.84	6
	3	E			Long.	Alta	4.45	12
	1	F			Long.	Alta	10.13	17
	2	F						
	3	F						
	4	F			Long.	Alta	8.66	12
	5	F						
0+223.5	6	F			Transv.	Media	2.19	8
0+139.8	1	G			Esq.	alta	2.64	13
	1	H			Transv.	Alta	3.05	12
	2	G			Transv.	Media	4.62	10
	2	H			Transv.	Media	3.97	10
	3	G			Transv.	Media	2.28	9
	3	H			Transv.	Media	2.9	7
	4	G			Transv.	Alta	5.46	12
	5	G			Long.	Alta	38.52	15
	6	G						
	7	G						
	8	G						
	9	G						

0+252.0	4	H			Transv.	Alta	3.16	11
0+303.1	10	G			Long.	Alta	12.60	15
	11	G						
	12	G						
	13	G						
	5	H			Transv.	Media	3.95	6
	6	H			Long.	Alta	16.21	13
	7	H						
	8	H						
0+423.1	9	H						
0+443.2	7	C			Esq.	Media	1.84	7
	10	H			Long.	Alta	13.41	14
	11	H						
	12	H						
	14	G			Long.	Alta	24.68	11
	15	G						
	16	G						
	17	G						
	18	G						
	13	H			Transv.	Alta	3.27	11
0+464.3	7	F			Long.	Alta	11.68	14
	8	F						
	9	F						
	10	F			Esq.	Media	2.32	5

(Fuente: Elaboración propia)

Adicionalmente se logró estimar el total de deterioro de sello en juntas longitudinales y transversales, presentaban alrededor del 20% del total de de juntas presentadas en las áreas estudiadas.

Es así que se tiene un total de juntas con material de sello deteriorado igual a:

20% del total de juntas en la av. Sur = $(0.2 * 194.88) + (0.2 * 43 * 7) + (0.2 * 100) + (0.2 * 22.22 * 7) + (0.2 * 20) + (0.2 * 5 * 7) + (0.2 * 343) + (0.2 * 76.22 * 7) = 336.60 \text{ m}$

20% del total de juntas en la av. Note= $(0.2*200) + (0.2*44.44*7.5) + (0.2*86.8) + (0.2*19.29*7.5) + (0.2*49.3) + (0.2*11*7.5) = 129.32 \text{ m}$

Total de metros lineales de deterioro de sello= 515.92 m

Fruto de la inspección visual del pavimento, el análisis de los datos de diseño y construcción además del inventario de fallas realizado podemos plantear las siguientes causas, produjeron las grietas producidas en la superficie de rodadura:

- Grietas longitudinales:
 - o Un posible asentamiento de la base o subrasante.- pues como se estableció en los perfiles geotécnicos de ambas avenidas están presenta materiales inadecuado para una fundación de una carretera
 - o Falta de apoyo de la losa, posiblemente originado por alabeo termico debido a las condiciones de la zona al tratarse de una zona en las que se establece un alto gradiente termico que ocasionara un alabeo de las losas
 - o Aserrado tardío de la junta. En el caso de grietas longitudinales.
- Grietas transversales:
 - o Asentamiento de la base y/o la subrasante
 - o Gradiente termico que origina alabeos.
 - o Espesor de losa insuficiente para soportar las solicitaciones, esto si en estas areas se ejecuto un espesor menor al previsto en el diseño.
- Grietas de Esquina:
 - o Asentamiento de la base y/o la subrasante
 - o Deficiente transmisión de cargas entre las juntas de losas adyacentes
- Deterioro del sello en juntas longitudinales y transversales
 - o Perdida de adherencia entre el sello y la losa.- producto de un sellado mal colocado, paredes sucias en el momento de aplicar el sello.

d) Ensayos de campo y laboratorio

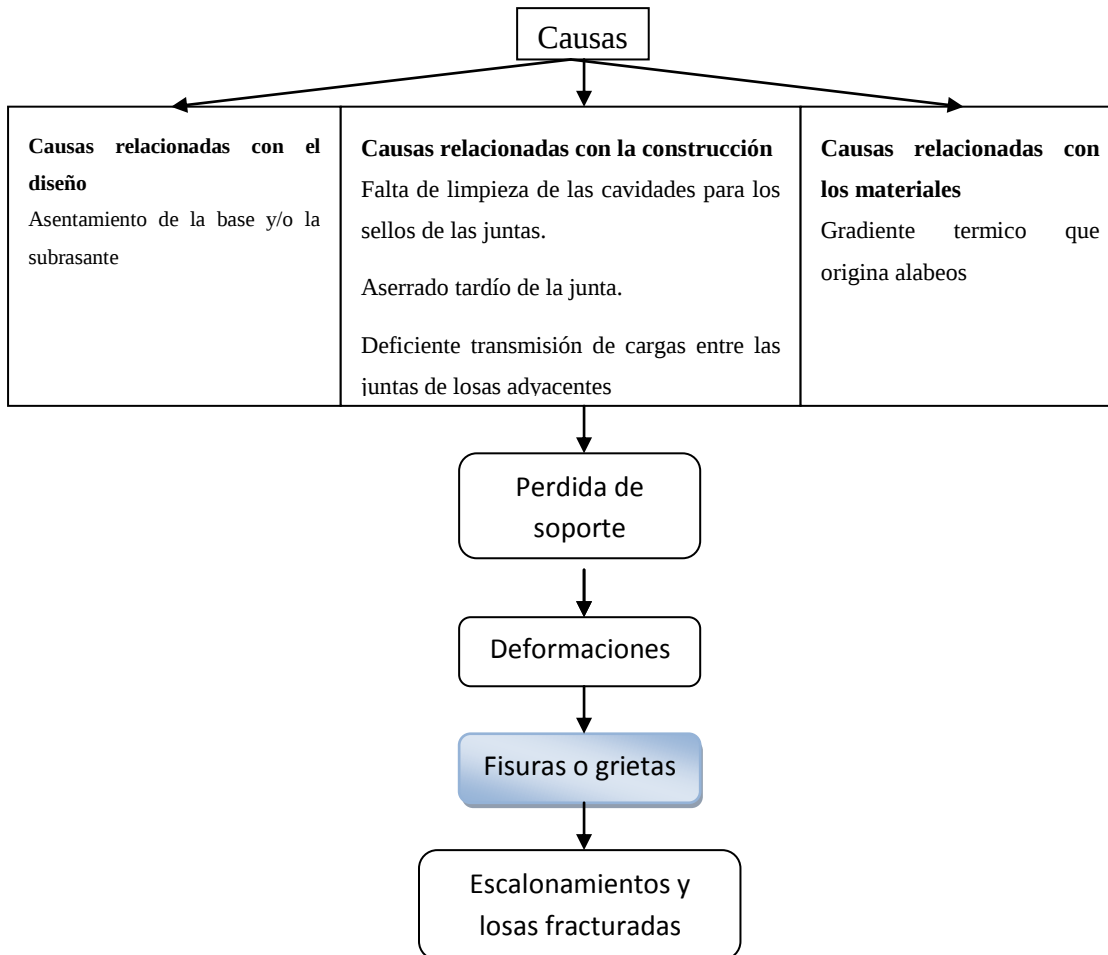
Inspección de juntas.- se realizó esta actividad a fin de validar la hipótesis de las causas del deterioro del sello en juntas estableciendo que estas presentaban polvo y otros materiales en el sello de asfalto.

- extracción de núcleos

Mediante estos se pudo verificar el espesor de la carpeta de concreto era en promedio igual a la de diseño D=20 cm.

e) Validación de Hipótesis «identificación de causas»

Ante el desconocimiento de lo que se hizo, por estudios insuficientes y presupuesto limitado para la investigación de las metodologías de reparación establecidas en este estudio, solo nos quedó realizar un análisis a partir de lo expuesto y de algunos daños en varios pavimentos de concreto construidos recientemente en nuestro país, es que identificamos las causas de los deterioros presentes en las vías de estudio como:



Causas relacionadas con el diseño

- Asentamiento de la base y/o la subrasante

Causas relacionadas con la construcción

- Falta de limpieza de las cavidades para los sellos de las juntas.
- Aserrado tardío de la junta.
- Deficiente transmisión de cargas entre las juntas de losas adyacentes

Causas relacionadas con los materiales

- Gradiente termico que origina alabeos.

f) Análisis de Metodologías para la reparación del pavimento

Para determinar la mejor metodología de reparación para el proyecto, evaluamos los resultados obtenidos en la evaluación de los deterioros, además de las necesidades y requerimientos de los usuarios.

Es así que para el caso de las grietas registradas, se tomó una decisión en base a los siguientes parámetros:

- Necesidad de reparaciones rápidas que no ocasionen molestias a los usuarios.
- Garantizar el correcto desempeño del pavimento en toda su vida útil mediante la utilización de materiales idóneos.
- Bajo costo.
- Equipos normales frecuentemente utilizados en la construcción de pavimentos de concreto.

Analizando estas condiciones necesarias para la reparación podemos determinar que las posibles metodologías a ejecutar son:

- Reparación de las losas de concreto en espesor total o parcial con concreto hidráulico.
- Retrocolocado de barras pasa juntas.

Analizando el alcance de cada una de estas metodologías, pudimos notar que las dos son aceptables pero viendo un factor o condición más del proyecto como lo es la necesidad de mejorar la Subrasante.

No podemos efectuar el retrocolocado de barras pasajuntas, pues no tomaríamos en cuenta esta condición tan importante, dando como resultado una mala reaparición que de seguro no tardaría en volver a constituirse en un nuevo y posiblemente mayor deterioro del pavimento.

Finalmente por esta misma causa, solo se realizara la **reparación de losas de concreto en espesor total**, pues nos garantizaría su correcto desempeño al dar una solución en cuanto a la necesidad de mejorar la subrasante ante la pérdida de soporte.

En cuanto al caso de las juntas que presenta deterioro de sello, y las producidas en las reparaciones se analizaron bajo las condiciones de:

- Necesidad de reparaciones rápidas que no ocasionen molestias a los usuarios.
- Estética.
- Garantizar la transferencia de cargas entre losas adyacentes en el caso de las juntas.

Concluyendo que la mejor alternativa ante estas necesidades es la metodología de **resellado de juntas** con un sellante de bajo modulo elástico y autonivelante (SIKAFLEX 15ML SL).

Previamente a la aplicación de las metodologías de reparación del pavimento rígido de Carapari se cumplieron las siguientes precondiciones:

Seleccionar y establecer las zonas a reparar.- Conforme la inspección de daños realizada se pudo establecer las zonas en las cuales se realizaron las diferentes reparaciones localizadas, en función al estado de la vía y el tipo de falla.

Resultando del análisis previo de causas que originaron las grietas o fisuras en los paños o losas, se determinaron que se ejecutarían las siguientes metodologías de reparación:

- Reparación de las losas de concreto en espesor total con concreto hidráulico. Para mayor referencia y mejor orientación del bacheo en la vía, referirse al **Anexo (plano de tramos pavimentados y ubicación de baches)**.
- Reparación de las losas de concreto mediante el Resellado de juntas y fisuras con un sellante de bajo modulo elástico y autonivelante (SIKAFLEX 15ML SL). VER **ANEXO “FICHA TECNICA SIKAFLEX”**

Especificaciones establecidas en cuanto a los materiales y a la ejecución de las técnicas de reparación

Para garantizar que el material que se utilizara para las reparaciones del pavimento se realizaron varios ensayos de laboratorio.

❖ Ensayos de laboratorio de suelos

Las actividades realizadas por el laboratorio de Suelos fueron las siguientes

- Ensayos de proctor T – 180 de suelos de los bancos de préstamo para subbase y mejoramiento de subrasante.
- Ensayos de clasificación de suelos de los bancos de préstamo para sub base y mejoramiento de subrasante

❖ Ensayos de laboratorio de hormigones

Las actividades realizadas por el laboratorio de Hormigones fueron las siguientes:

- Ensayos de moldar probetas y vigas estadísticas para verificación de los parámetros de diseño utilizados según las especificaciones técnicas del documento a diseño final.
- Ensayos continuos de los agregados acopiados por la empresa contratista.
- Pruebas continuas de la dosificadora de Hormigón.

Permitir ajustes a cantidades y tipos de reparaciones

En función al análisis que se realizó de los diferentes tramos afectados se estimaron los posibles volúmenes y metros lineales de material necesario para llevar a cabo una correcta reparación, los mismos que pueden variar en cuanto se estén realizando las reparaciones, es así que en varios tramos se observaron problemas con la subrasante que no estaban previstos en un principio y debido a esto aumentaron las actividades de mantenimiento.

5.4. Procedimientos de las Metodologías de reparación

5.4.1 Reparación de las losas de concreto en espesor total con concreto hidráulico.

Se determinó que en todos los casos será necesaria la restitución de las capas del pavimento, subbase, subrasante y rodadura en distintas profundidades en función del material con que se cuente como soporte, este nuevo material deberá cumplir con las especificaciones originales del proyecto, tanto el suelo como el hormigón.

Otro aspecto importante, es que se restituirá la transferencia de carga a través de una junta reparada.

Materiales.- Los materiales que se usaron para la reparación de las losas, mediante esta metodología, son los mismos que se usaron para pavimentar la vía, debiendo estos, de pasar por una serie de pruebas de laboratorio para su dosificación garantizando que los materiales utilizados son los adecuados y cumplen con los requisitos establecidos en las especificaciones del proyecto y las normativas.

Equipo.- Para realizar de forma correcta siguiendo en lo posible todas las especificaciones respecto a la ejecución, para la reposición de losas, se requirió de parte del equipo utilizado para ejecutar el pavimentado tal equipo se describe a continuación en el siguiente cuadro:

Tabla 5.5 Equipo mínimo comprometido para la restitución de losas

No.	Descripción	Unid.	Cantidad s/propuesta	Cantidad s/Movilización	observación
1	Retroexcavadora	Pza.	1	1	Indispensable
2	Camiones Mescladores (Mixer)	Pza.	4	1	Indispensable
3	Rodillos y Reglas Vibratorias	Pza.	2	1	Indispensable
4	Cepillo Texturizador	Pza.	2	1	Indispensable
5	Cortadora de Hormigón	Pza.	2	2	Indispensable
6	Equipo para Calentamiento de Asfalto	Pza.	1	0	No Indispensable
7	Hormigonera	Pza.	4	varios	Indispensable
8	Vibrador de Inmersión	Pza.	2	2	Indispensable
9	Compactador Manual	Pza.	2	2	Indispensable

10	Martillo hidráulico	Pza.	1	1	Indispensable
11	Equipo de Laboratorio de Suelos y Hormigones	Pza.	1	1	Indispensable
12	Herramientas menores (combos, cincel, pala, etc.)	Pza.	1	1	

(Fuente: Informe final y de cierre “Pavimento Rígido Carapari” elaborado por la consultora SICA)

Este equipo nos garantiza la obtención de la calidad especificada y además el volumen necesario de acuerdo al programa de ejecución y la medición.

Ejecución.- Antes de comenzar los trabajos de reposición de losas de concreto hidráulico, se procedió a instalar señales y dispositivos de forma que no se interrumpa la circulación de los automóviles.

Demarcado de áreas.-Luego como marca el procedimiento establecido se procedió a la identificación de las losas a reparar, demarcando además las zonas a ser removidas teniendo cuidado al establecer los límites de la reparación siguiendo las recomendaciones y marcando con pintura en la superficie del pavimento.

Aislamiento de la aérea a remover.-Con el objetivo de minimizar el daño al concreto de las losas adyacentes, del carril o de la berma en ciertas zonas a reparar se procedieron a aislarlas mediante cortes realizados con la ayuda de la cortadora de hormigón, en el caso de las reparaciones realizadas solo se aisló, en la junta longitudinal mediante un corte en todo el espesor de la losa cortando las barras de amarre y en sentido transversal realizando dos cortes uno a d/4 y uno a profundidad total a 150 mm más adentro.

Remoción de las áreas a restituir.-Se optó por la remoción por demolición debido principalmente a la maquinaria con la que se contaba, así se procedió a demoler todas las zonas previamente aisladas mediante el empleo del martillo hidráulico, debiendo antes realizar cortes adicionales en espesor total en el interior de la zona a reparar, para facilitar su demolición que se inició en todos los casos a partir de la zona central del área a remover.



Foto 5.5 Demolición de losas con martillo hidráulico.

(Fuente: Elaboración Propia)

Preparación del área para el hormigonado.-Una vez realizado la demolición de las losas se procedió a aserrar los bordes del área removida mediante la cortadora de hormigón dejando bordes verticales limpios.



Foto 5.6 Aserrado de bordes.

(Fuente: Elaboración Propia)

En algunas losas se debió de realizar el además de la limpieza necesaria, un recompackado, debido a que se causó daño a la base en la demolición del concreto, esto es común ante la demolición como método de remoción del concreto.



Foto 5.7 Limpieza del área demolida dejándola libre de materiales sueltos.

(Fuente: Elaboración Propia)

Se observó además luego de un análisis de previo que muchas de las zonas a reparar no contaban con el material adecuado para la subbase, motivo por el cual se procedió a retirar dicho material y restituirlo con el material adecuado y proceder a compactarlo de manera que cumpla con las especificaciones del proyecto.



Extracción de material blando



Recompactado de la base

Foto 5.8 Procedimiento de restitución de la fundación en áreas por reparar

(Fuente: Elaboración Propia)

Proveer transferencia de carga.-Para el caso de las zonas a reparar que se realizaron en los tramos de la zona urbana, no se requirió la instalación de dovelas para juntas para garantizar la transferencia de cargas debido a que no son vías de tráfico pesado y como medio alternativo de transferencia de carga se dejó las paredes de las juntas del hormigón viejo dejándolas rugosas e irregulares brindando mayor trabazón con el hormigón nuevo.



Foto 5.9 Reposición de las barras de amarre

(Fuente: Elaboración Propia)

En el caso de las dos avenidas, Avenida a Tarija doble vía, Avenida a Yacuiba doble vía, por tratarse de pavimentos para tráfico pesado (camiones y buses), para garantizar la correcta transferencia de cargas entre las juntas de las áreas reparadas, se verificaron que las dovelas en las juntas transversales mantengan su alineamiento horizontal, en todas las áreas reparadas no se observaron daños en las dovelas por lo que no se tuvo que reposicionar ninguna.



Foto 5.10 Verificación de dovelas en las vías de alto tráfico (av. a Yacuiba y av. a Tarija)
(Fuente: Elaboración Propia)

Y para la transferencia de cargas en las juntas longitudinales en reparaciones de gran longitud, como en caso de dos o más losas repuestas contiguas, se respondieron las barras de amarre con las losas adyacentes, para esto se procedió a realizar perforaciones a lo largo de la junta longitudinal, a cada 75 cm aproximadamente estas serán barras corrugadas de ½ “ y cada barra tendrá un metro de longitud.

Colocado y terminado del hormigón.-Previo a la colocado del concreto hidraulico, se preparo la subbase, las dovelas, barras de amarre, y se limpio la superficie de materiales ajenos.

Se procedio a vaciar el concreto directamente del camion hormigonera, procediendo a distribuir en toda el area mediante palas, de forma uniforme evitando el paleo excesivo, siempre se preparo un volumen de hormigon de acuerdo a la cantidad de losas que se vaciarian y podrian ser terminadas y curadas de inmediato.

Inmediatamente terminado el colocado del concreto se procedio a vibrar y enrasar el mismo, el vibrado fue realizado mediante un vibrador de inmersion teniendo cuidado de introducirlo en forma vertical y sin arrastrarlo por la mezcla, que generarian huecos. El enrasado se lo realizo mediante una regla de metal igualando el nivel con el de la superficie de la via.



***Foto 5.11 Colocado del concreto directamente de la hormigonera
(Fuente: Elaboración Propia)***



***Foto 5.12 Vibrado y enrasado
(Fuente: Elaboración Propia)***

Terminado el vibrado y enrasado, y previo a su endurecimiento se procedio a texturizar el area mediante el cepillo texturizador , dandole un acabado similar al resto del pavimento, garantizando de esta forma que los usuarios circulen de igual forma sobre las reparaciones que en el pavimento.



***Foto 5.13 Texturizado del conereo mediante cepillo texturizador
(Fuente: Elaboración Propia)***

Finalmente cuando el concreto empezo a perder su brillo superficial se procedio al curado del mismo.

Sellado de juntas.-En el caso, de los tramos en los cuales se formaron juntas, en las losas restituidas, se sellaron conforme lo establecido en el sellado de juntas y

fisuras. Considerando necesario la formación de juntas transversales en las losas restituidas y viendo que estas coincidan con las juntas del pavimento existente.



Foto 5.14 Losa restituida terminada y lista para abrir al tráfico

(Fuente: Elaboración Propia)

Se deberá restringir el tráfico hasta que la losa restituida alcance la resistencia, para evitar ser dañada con el paso de los vehículos, al tratarse de un concreto normal lo recomendable es no abrir al tráfico hasta menos de 72 horas como mínimo.

Medición.- La reposición de losas, se la mide en metros cúbicos de losa repuesta terminada, así se presenta a continuación los volúmenes de losas a reparar según planos **(Anexo: plano de detalle de fallas y reparaciones)**

Tabla 5.6 Detalle de cantidad de losas a restituir

NOMBRE DE CALLE	Nº Reparación en el plano			Reparaciones en espesor total				total de losas
				Largo(m)	Ancho(m)	área(m ²)	Alto(m)	(m ³)
AV. SUR (AREA Nº1)	Reparación	Nº1	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.50	5.25	0.50	2.63
	Reparación	Nº2	Mejoramiento de la subrasante	1.80	3.50	6.30	0.50	3.15
	Reparación	Nº3	Mejoramiento de la subrasante	7.50	3.50	26.25	0.50	13.13
	Reparación	Nº4	Mejoramiento de la subrasante	3.00	3.50	10.50	0.50	5.25
	Reparación	Nº5	Mejoramiento de la subrasante	3.75	3.50	13.13	0.50	6.56
	Reparación	Nº6	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.50	5.25	0.50	2.63
	Reparación	Nº7	Mejoramiento de la subrasante	4.50	3.50	15.75	0.50	7.88
	Reparación	Nº8	Mejoramiento de la subrasante	15.00	3.50	52.50	0.50	26.25

AV. SUR (AREA Nº2)	Reparación	Nº9	Mejoramiento de la subrasante	12.00	3.50	42.00	0.50	21.00
	Reparación	Nº10	Mejoramiento de la subrasante	7.00	3.50	24.50	0.50	12.25
	Reparación	Nº11	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.50	5.25	0.50	2.63
	Reparación	Nº12	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.50	5.25	0.50	2.63
AV. SUR (AREA Nº3)	Reparación	Nº13	Mejoramiento de la subrasante	13.50	3.50	47.25	0.50	23.63
AV. SUR (AREA Nº4)	Reparación	Nº14	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.50	5.25	0.50	2.63
	Reparación	Nº15	Mejoramiento de la subrasante	3.00	3.50	10.50	0.50	5.25
	Reparación	Nº16	Mejoramiento de la subrasante	6.00	3.50	21.00	0.50	10.50
	Reparación	Nº17	Mejoramiento de la subrasante	6.00	3.50	21.00	0.50	10.50
	Reparación	Nº18	Mejoramiento de la subrasante	2.50	3.50	8.75	0.50	4.38
	Reparación	Nº19	Mejoramiento de la subrasante	13.50	3.50	47.25	0.50	23.63
	Reparación	Nº20	Mejoramiento de la subrasante	2.00	3.50	7.00	0.50	3.50
	Reparación	Nº21	Mejoramiento de la subrasante	1.50	7.00	10.50	0.50	5.25
	Reparación	Nº22	Mejoramiento de la subrasante	7.50	3.50	26.25	0.50	13.13
AV. NORTE (AREA Nº5)	Reparación	Nº23	Mejoramiento de la subrasante	2.00	3.75	7.50	0.50	3.75
	Reparación	Nº24	Mejoramiento de la subrasante	2.10	3.75	7.88	0.50	3.94
	Reparación	Nº25	Mejoramiento de la subrasante	1.75	3.75	6.56	0.50	3.28
	Reparación	Nº26	Mejoramiento de la subrasante	11.00	3.75	41.25	0.50	20.63
	Reparación	Nº27	Mejoramiento de la subrasante	9.00	3.75	33.75	0.50	16.88
	Reparación	Nº28	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.75	5.63	0.50	2.81
AV. NORTE (AREA Nº6)	Reparación	Nº29	Mejoramiento de la subrasante	2.50	3.75	9.38	0.60	5.63
	Reparación	Nº30	Mejoramiento de la subrasante	3.00	7.50	22.50	0.60	13.50
	Reparación	Nº31	Mejoramiento de la subrasante	2.80	3.75	10.50	0.60	6.30
	Reparación	Nº32	Mejoramiento de la subrasante	1.50	7.50	11.25	0.60	6.75
	Reparación	Nº33	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.75	5.63	0.60	3.38
	Reparación	Nº34	Mejoramiento de la subrasante	21.00	3.75	78.75	0.60	47.25
	Reparación	Nº35	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.75	5.63	0.60	3.38

AV. NORTE (AREA N°7)	Reparación	N°36	Mejoramiento de la subrasante	11.00	3.75	41.25	0.60	24.75
	Reparación	N°37	Mejoramiento de la subrasante	3.00	3.75	11.25	0.60	6.75
	Reparación	N°38	Mejoramiento de la subrasante	11.00	3.75	41.25	0.60	24.75
AV. NORTE (AREA N°8)	Reparación	N°39	Mejoramiento de la subrasante	10.50	3.75	39.38	0.65	25.59
	Reparación	N°40	Mejoramiento de la subrasante	21.00	3.75	78.75	0.65	51.19
	Reparación	N°41	Mejoramiento de la subrasante	3.00	3.75	11.25	0.50	5.63
AV. NORTE (AREA N°9)	Reparación	N°42	Mejoramiento de la subrasante	11.00	3.75	41.25	0.70	28.88
	Reparación	N°43	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.75	5.63	0.70	3.94
								517.26

(Fuente: Elaboración Propia)

5.4.2. Resellado de juntas deterioradas con sellante (SIKAFLEX15ML SL).

Se determinó resellar las fisuras de nivel de severidad bajo, mediante la aplicación de un material sellante (SIKAFLEX), la decisión tuvo que ver más que todo por el lado de la estética pues es de color similar al del pavimento.

El objetivo fue lograr que las grietas o fisuras sean selladas para evitar la entrada del agua o la introducción de materiales extraños no compresibles.

Materiales.- El sellador SIKAFLEX, que se utilizaron para el resellado de estas fisuras, cumple con las especificaciones de los materiales para sellado de juntas y fisuras como se detalla a continuación sus características y cualidades.

SIKAFLEX 15 LM SL Sellante de bajo modulo elástico y autonivelante.-SIKAFLEX 15 LM SL es un sellante elástico de un componente a base de poliuretano autonivelante y de bajo módulo elástico.

Usos: sellado de juntas de dilatación en autopistas, carreteras, aeropuertos, pavimentos y bodegas industriales, Sellado de juntas horizontales.

Ventajas: fácil y listo para usar, excelente adherencia, adhiere a hormigón y mamposterías sin la necesidad de utilizar imprimante, Adaptable a juntas con movimientos entre -50% y +100%, produce menores esfuerzos en las juntas, cura proporcionando una durable y flexible consistencia, excelente resistencia al envejecimiento y a intemperie, bajo modulo

elástico, mono componente, elimina pérdidas de tiempo, esfuerzo, desperdicios y limpieza de equipo.

Datos técnicos:

- Densidad 1.19 kg/dm³
- Temperatura de aplicación +5°C a +37°C
- Temperatura de servicio - 40°C a + 77 °C

Rango de curado

- Tiempo de curado inicial Menos de 2 horas.
- Tiempo de curado final 7 a 10 días.
- Dureza Shore A (ASTM D-2250) 15± 5

Propiedades de tensión (ASTM D-412)

- Resistencia a la tensión 1.3 Mpa
- Elongación a la rotura 750%
- Módulo de elasticidad 25% 0.1 Mpa
50% 0.2 Mpa
100% 0.2 Mpa
- Elongación -50% a +100%(del ancho promedio de la junta)

Equipo.- Para la ejecución de esta actividad se utilizaron los siguientes equipos:

- Equipo ranurador rotatorio (cortadora de concreto) ,
- equipo de aplicación de sello
- herramientas manuales y una cámara fotográfica, etc.

Ejecución.- El procedimiento a seguir para la ejecución de los trabajos fue siguiente:

Señalización.-Se colocaron señales preventivas y dispositivos de seguridad.

Ranurado o corte.-Realizar el trabajo de ranurado utilizando una cortadora, a la que se le puso un disco para cortar, hasta lograr las dimensiones de la ranura indicadas. Se procuró que el alineamiento de los cortes sea perfectamente una línea que siga las direcciones de la fisura.

Limpieza de la ranura.-Eliminar todo residuo de polvo, grasas u otros materiales contaminantes que alteren la adherencia del concreto con el sellador, con un inyector de aire caliente comprimido, limpio y seco (sin aceite ni humedad).

Aplicación del sellante SIKAFLEX.-Dentro de las juntas y/o grietas siguiendo las instrucciones del fabricante.

- su rendimiento es igual a 11ml por kg.
- Para sellar fisuras, grietas o juntas podrá ser de forma manual.
- Colocar solamente la cantidad de material indispensable para rellenar la junta o fisura y evitar que se derrame sobre las superficies expuestas del concreto.
- aplicar en la abertura o ranura, cuando ésta se encuentre en el punto medio de su movimiento de diseño a expansión y contracción.
- vertido en la junta en una sola dirección, permitiéndole fluir y nivelarse como sea necesario. Utilizar las herramientas necesarias.
- También se debe tener un dispositivo controlado de temperatura para mantener la temperatura de aplicación dentro del rango de tolerancia indicado por el fabricante entre 5 °C y 37 °C.

Cuidados.-Retirar cualquier material sobrante que esté presente en la superficie del pavimento de concreto y depositarlo en los sitios previstos para el efecto y limpiar la superficie del pavimento.

Medición.- La unidad de medida para el Sellado de Grietas es: metro lineal (ml) de fisura, grieta o junta sellada.

Se determinó la cantidad total de juntas con material de sello deteriorado igual a:

20% del total de juntas en la av. Sur = $(0.2 * 194.88) + (0.2 * 43 * 7) + (0.2 * 100) + (0.2 * 22.22 * 7) + (0.2 * 20) + (0.2 * 5 * 7) + (0.2 * 343) + (0.2 * 76.22 * 7) = 336.60 \text{ m}$

20% del total de juntas en la av. Note = $(0.2 * 200) + (0.2 * 44.44 * 7.5) + (0.2 * 86.8) +$

$(0.2 * 19.29 * 7.5) + (0.2 * 49.3) + (0.2 * 11 * 7.5) = 129.32 \text{ m}$

Total de metros lineales de deterioro de sello = 515.92 m

5.5. Presupuesto de las Reparaciones

5.5.1. Computos metricos

ITEM	DESCRIPCION		DIMENSIONES				N° veces	VOLUMEN		UNIDAD	
			L	H	B	AREA		Parcial	Total		
1	Señalización		-	-	-	-	1	1	1	glb	
2	Demarcado de areas								932.90	m^2	
	AV.SUR		-	-	-	416.7	1.0	416.7	932.9		
	AV. NORTE		-	-	-	516.2	1.0	516.2			
3	Demolicion de losas								186.60	m^3	
	AV.SUR espesor 20cm		-	-	-	416.7	0.20	83.3	186.6		
	AV. NORTE espesor 20cm		-	-	-	516.2	0.20	103.2			
4	Restitucion de subase y subrasante mejorada								364.37	m^3	
	AVENIDA SUR (SALIDA A YACUIBA)										
	Reparación	N°1	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.50	0.30	5.25	1.00			1.58
	Reparación	N°2	Mejoramiento de la subrasante	1.80	3.50	0.30	6.30	1.00			1.89
	Reparación	N°3	Mejoramiento de la subrasante	7.50	3.50	0.30	26.25	1.00			7.88
	Reparación	N°4	Mejoramiento de la subrasante	3.00	3.50	0.30	10.50	1.00			3.15
	Reparación	N°5	Mejoramiento de la subrasante	3.75	3.50	0.30	13.13	1.00			3.94
	Reparación	N°6	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.50	0.30	5.25	1.00			1.58
	Reparación	N°7	Mejoramiento de la subrasante	4.50	3.50	0.30	15.75	1.00			4.73
	Reparación	N°8	Mejoramiento de la subrasante	15.00	3.50	0.30	52.50	1.00			15.75
	Reparación	N°9	Mejoramiento de la subrasante	12.00	3.50	0.30	42.00	1.00			12.60
	Reparación	N°10	Mejoramiento de la subrasante	7.00	3.50	0.30	24.50	1.00			7.35
	Reparación	N°11	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.50	0.30	5.25	1.00			1.58
	Reparación	N°12	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.50	0.30	5.25	1.00			1.58
	Reparación	N°13	Mejoramiento de la subrasante	13.50	3.50	0.30	47.25	1.00			14.18
	Reparación	N°14	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.50	0.35	5.25	1.00			1.84
	Reparación	N°15	Mejoramiento de la subrasante	3.00	3.50	0.35	10.50	1.00			3.68
	Reparación	N°16	Mejoramiento de la subrasante	6.00	3.50	0.35	21.00	1.00			7.35
	Reparación	N°17	Mejoramiento de la subrasante	6.00	3.50	0.35	21.00	1.00			7.35
	Reparación	N°18	Mejoramiento de la subrasante	2.50	3.50	0.35	8.75	1.00			3.06
	Reparación	N°19	Mejoramiento de la subrasante	13.50	3.50	0.35	47.25	1.00			16.54
	Reparación	N°20	Mejoramiento de la subrasante	2.00	3.50	0.35	7.00	1.00			2.45
	Reparación	N°21	Mejoramiento de la subrasante	1.50	7.00	0.35	10.50	1.00			3.68
	Reparación	N°22	Mejoramiento de la subrasante	7.50	3.50	0.35	26.25	1.00			9.19
	AVENIDA NORTE (SALIDA A TARIJA)										
	Reparación	N°23	Mejoramiento de la subrasante	2.00	3.75	0.35	7.50	1.00			2.63
	Reparación	N°24	Mejoramiento de la subrasante	2.10	3.75	0.35	7.88	1.00			2.76
	Reparación	N°25	Mejoramiento de la subrasante	1.75	3.75	0.35	6.56	1.00			2.30

	Reparación	N°26	Mejoramiento de la subrasante	11.00	3.75	0.35	41.25	1.00	14.44		
	Reparación	N°27	Mejoramiento de la subrasante	9.00	3.75	0.35	33.75	1.00	11.81		
	Reparación	N°28	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.75	0.35	5.63	1.00	1.97		
	Reparación	N°29	Mejoramiento de la subrasante	2.50	3.75	0.45	9.38	1.00	4.22		
	Reparación	N°30	Mejoramiento de la subrasante	3.00	7.50	0.45	22.50	1.00	10.13		
	Reparación	N°31	Mejoramiento de la subrasante	2.80	3.75	0.45	10.50	1.00	4.73		
	Reparación	N°32	Mejoramiento de la subrasante	1.50	7.50	0.45	11.25	1.00	5.06		
	Reparación	N°33	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.75	0.45	5.63	1.00	2.53		
	Reparación	N°34	Mejoramiento de la subrasante	21.00	3.75	0.45	78.75	1.00	35.44		
	Reparación	N°35	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.75	0.45	5.63	1.00	2.53		
	Reparación	N°36	Mejoramiento de la subrasante	11.00	3.75	0.45	41.25	1.00	18.56		
	Reparación	N°37	Mejoramiento de la subrasante	3.00	3.75	0.45	11.25	1.00	5.06		
	Reparación	N°38	Mejoramiento de la subrasante	11.00	3.75	0.45	41.25	1.00	18.56		
	Reparación	N°39	Mejoramiento de la subrasante	10.50	3.75	0.50	39.38	1.00	19.69		
	Reparación	N°40	Mejoramiento de la subrasante	21.00	3.75	0.50	78.75	1.00	39.38		
	Reparación	N°41	Mejoramiento de la subrasante	3.00	3.75	0.35	11.25	1.00	3.94		
	Reparación	N°42	Mejoramiento de la subrasante	11.00	3.75	0.55	41.25	1.00	22.69		
	Reparación	N°43	Mejoramiento de la subrasante	1.50	3.75	0.55	5.63	1.00	3.09		
5	Instalacion de barras de amarre								334.3	ml	
	AV.SUR			117.55	0.5	0.75	78.4	2	156.7	334.3	
	AV. NORTE			133.15	0.5	0.75	88.8	2	177.5		
6	Restitucion de losas de Concreto								186.57	m^3	
	AV.SUR						416.7	0.2	83.34	186.57	
	AV. NORTE						516.2	0.2	103.24		
7	Texturizado y curado								932.86	932.90	m^2
8	Aserrado y sellado de juntas en losas restauradas con SIKAFLEX								824.4	ml	
	a) JUNTAS TRANSVERSALES										
	AVENIDA SUR (SALIDA A YACUIBA)									326.0	
	Reparación	N°1	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0		
	Reparación	N°2	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0		
	Reparación	N°3	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0		
	Reparación	N°4	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0		
	Reparación	N°5	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0		
	Reparación	N°6	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0		
	Reparación	N°7	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0		
	Reparación	N°8	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0		
	Reparación	N°9	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0		
	Reparación	N°10	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0		
	Reparación	N°11	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0		
	Reparación	N°12	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0		

Reparación	N°13	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0
Reparación	N°14	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0
Reparación	N°15	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0
Reparación	N°16	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0
Reparación	N°17	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0
Reparación	N°18	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0
Reparación	N°19	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0
Reparación	N°20	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0
Reparación	N°21	Mejoramiento de la subrasante	7.0	-	-	-	2.0	14.0
Reparación	N°22	Mejoramiento de la subrasante	3.5	-	-	-	2.0	7.0
AVENIDA NORTE (SALIDA A TARIJA)								
Reparación	N°23	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°24	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°25	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°26	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°27	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°28	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°29	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°30	Mejoramiento de la subrasante	7.50	-	-	-	2.0	15.0
Reparación	N°31	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°32	Mejoramiento de la subrasante	7.50	-	-	-	2.0	15.0
Reparación	N°33	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°34	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°35	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°36	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°37	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°38	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°39	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°40	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°41	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°42	Mejoramiento de la subrasante	3.75	-	-	-	2.0	7.5
a) JUNTAS LONGITUDINALES								
AVENIDA SUR (SALIDA A YACUIBA)								498.4
Reparación	N°1	Mejoramiento de la subrasante	-	1.5	-	-	2.0	3.0
Reparación	N°2	Mejoramiento de la subrasante	-	1.8	-	-	2.0	3.6
Reparación	N°3	Mejoramiento de la subrasante	-	7.5	-	-	2.0	15.0
Reparación	N°4	Mejoramiento de la subrasante	-	3.0	-	-	2.0	6.0
Reparación	N°5	Mejoramiento de la subrasante	-	3.8	-	-	2.0	7.5
Reparación	N°6	Mejoramiento de la subrasante	-	1.5	-	-	2.0	3.0
Reparación	N°7	Mejoramiento de la subrasante	-	4.5	-	-	2.0	9.0
Reparación	N°8	Mejoramiento de la subrasante	-	15.0	-	-	2.0	30.0
Reparación	N°9	Mejoramiento de la subrasante	-	12.0	-	-	2.0	24.0
Reparación	N°10	Mejoramiento de la subrasante	-	7.0	-	-	2.0	14.0
Reparación	N°11	Mejoramiento de la subrasante	-	1.5	-	-	2.0	3.0

	Reparación	N°12	Mejoramiento de la subrasante	-	1.5	-	-	2.0	3.0	
	Reparación	N°13	Mejoramiento de la subrasante	-	13.5	-	-	2.0	27.0	
	Reparación	N°14	Mejoramiento de la subrasante	-	1.5	-	-	2.0	3.0	
	Reparación	N°15	Mejoramiento de la subrasante	-	3.0	-	-	2.0	6.0	
	Reparación	N°16	Mejoramiento de la subrasante	-	6.0	-	-	2.0	12.0	
	Reparación	N°17	Mejoramiento de la subrasante	-	6.0	-	-	2.0	12.0	
	Reparación	N°18	Mejoramiento de la subrasante	-	2.5	-	-	2.0	5.0	
	Reparación	N°19	Mejoramiento de la subrasante	-	13.5	-	-	2.0	27.0	
	Reparación	N°20	Mejoramiento de la subrasante	-	2.0	-	-	2.0	4.0	
	Reparación	N°21	Mejoramiento de la subrasante	-	1.5	-	-	2.0	3.0	
	Reparación	N°22	Mejoramiento de la subrasante	-	7.5	-	-	2.0	15.0	
AVENIDA NORTE (SALIDA A TARIJA)										
	Reparación	N°23	Mejoramiento de la subrasante	-	2.0	-	-	2.0	4.0	
	Reparación	N°24	Mejoramiento de la subrasante	-	2.1	-	-	2.0	4.2	
	Reparación	N°25	Mejoramiento de la subrasante	-	1.8	-	-	2.0	3.5	
	Reparación	N°26	Mejoramiento de la subrasante	-	11.0	-	-	2.0	22.0	
	Reparación	N°27	Mejoramiento de la subrasante	-	9.0	-	-	2.0	18.0	
	Reparación	N°28	Mejoramiento de la subrasante	-	1.5	-	-	2.0	3.0	
	Reparación	N°29	Mejoramiento de la subrasante	-	2.5	-	-	2.0	5.0	
	Reparación	N°30	Mejoramiento de la subrasante	-	3.0	-	-	2.0	6.0	
	Reparación	N°31	Mejoramiento de la subrasante	-	2.8	-	-	2.0	5.6	
	Reparación	N°32	Mejoramiento de la subrasante	-	1.5	-	-	2.0	3.0	
	Reparación	N°33	Mejoramiento de la subrasante	-	1.5	-	-	2.0	3.0	
	Reparación	N°34	Mejoramiento de la subrasante	-	21.0	-	-	2.0	42.0	
	Reparación	N°35	Mejoramiento de la subrasante	-	1.5	-	-	2.0	3.0	
	Reparación	N°36	Mejoramiento de la subrasante	-	11.0	-	-	2.0	22.0	
	Reparación	N°37	Mejoramiento de la subrasante	-	3.0	-	-	2.0	6.0	
	Reparación	N°38	Mejoramiento de la subrasante	-	11.0	-	-	2.0	22.0	
	Reparación	N°39	Mejoramiento de la subrasante	-	10.5	-	-	2.0	21.0	
	Reparación	N°40	Mejoramiento de la subrasante	-	21.0	-	-	2.0	42.0	
	Reparación	N°41	Mejoramiento de la subrasante	-	3.0	-	-	2.0	6.0	
	Reparación	N°42	Mejoramiento de la subrasante	-	11.0	-	-	2.0	22.0	
9	Resellado de juntas deterioradas con SIKAFLEX								465.92	ml
	AVENIDA SUR			336.6	-	-	-	-	465.92	
	AV. NORTE			129.32	-	-	-	-		
10	Limpieza y retiro general de escombros			517.26	1.1				569.0	569.0 m^3

5.5.2. Precios unitarios

Proyecto	EVALUACION DE METODOLOGIAS PARA LA REPARACION DE PAV. DE CONCRETO			Fecha :	JUNIO, 2012
Ubicación	PAVIMENTADO DE LA LOCALIDAD DE CARAPARI			Item :	1
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Actividad	SEÑALIZACION			Unidad :	glb
Especificacion	COLOCADO DE SEÑALES EN BORDES DE LAS REPARACIONES			Bs/\$us :	6.960
				PRECIO (Bs.)	
DESCRIPCION		UNIDAD	RENDIMIENTO	UNITARIO	PARCIAL
MATERIALES					
LETREROS LUMINOSOS PREFABRICADOS		PZA	1.00	50.00	50.00
COSTO UNITARIO DE MATERIALES					50.00
MANO DE OBRA					
PEON		HR	0.01	4.06	0.02
Mano de obra indirecta				5.00%	0.00
COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA					0.02
MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
Desgaste de herramientas y equipo				5.00%	0.00
COSTO UNITARIO DE HERRAMIENTAS Y EQUIPO					0.00
		COSTO DIRECTO			50.02
		Gastos generales		12.00%	6.00
		Utilidad		10.00%	5.00
		Beneficios sociales		55.00%	0.01
		I.V.A. s/mano de obra		14.94%	0.00
		SUBTOTAL			61.04
		Transaccion		3.09%	1.89
		PRECIO UNITARIO		Bs.	62.93
				\$us.	9.04

Proyecto	EVALUACION DE METODOLOGIAS PARA LA REPARACION DE PAV. DE CONCRETO			Fecha :	JULIO, 2012
Ubicación	PAVIMENTADO DE LA LOCALIDAD DE CARAPARI			Item :	2
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Actividad	DEMARCATO DE AREAS			Unidad :	m^2
Especificacion	INSPECCION VISUAL, SONDEO ACUSTICO Y PINTADO DE BORDES			Bs/\$us :	6.960
				PRECIO (Bs.)	
DESCRIPCION		UNIDAD	RENDIMIENTO	UNITARIO	PARCIAL
MATERIALES					
COSTO UNITARIO DE MATERIALES					0.00
MANO DE OBRA					
PEON	HR	0.10	4.06	0.41	
Mano de obra indirecta			5.00%	0.02	
COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA					0.43
MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
MARTILLO	PZA	0.0001	35.00	0.0035	
PINTURA AEROSOL	PZA	0.0001	40.00	0.0040	
Desgaste de herramientas y equipo			5.00%	0.02	
COSTO UNITARIO DE HERRAMIENTAS Y EQUIPO					0.03
	COSTO DIRECTO				0.46
	Gastos generales			12.00%	0.05
	Utilidad			10.00%	0.05
	Beneficios sociales			55.00%	0.23
	I.V.A. s/mano de obra			14.94%	0.06
	SUBTOTAL				0.85
	Transaccion			3.09%	0.03
	PRECIO UNITARIO			Bs.	0.88
				\$us.	0.13

Proyecto	EVALUACION DE METODOLOGIAS PARA LA REPARACION DE PAV. DE CONCRETO		Fecha :	JULIO, 2012
Ubicación	PAVIMENTADO DE LA LOCALIDAD DE CARAPARI		Item :	3
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS				
Actividad	DEMOLICION DE LOSAS		Unidad :	m^3
Especificacion	AISLAMIENTO, DEMOLICION Y CORTES ADICIONALES, ASERRADO Y LIMPIEZA		Bs/\$us :	6.960
			PRECIO (Bs.)	
DESCRIPCION		UNIDAD	RENDIMIENTO	UNITARIO
				PARCIAL
MATERIALES				
COSTO UNITARIO DE MATERIALES				0.00
MANO DE OBRA				
OPERADOR DE RETROEXCAVADORA		HR	0.80	18.75
OPERADOR DE CORTADORA DE CONCRETO		HR	0.50	18.75
OPERADOR DE MARTILLO HIDRAULICO		HR	0.8	18.75
PEON		HR	0.5	10.5
Mano de obra indirecta				5.00%
COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA				46.86
MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS				
RETROEXCAVADORA		HR	0.0500	224.00
CORTADORA DE CONCRETO		HR	0.0500	150.00
MARTILLO HIDRAULICO		HR	0.1000	220.00
Desgaste de herramientas y equipo				5.00%
COSTO UNITARIO DE HERRAMIENTAS Y EQUIPO				43.04
	COSTO DIRECTO			89.90
	Gastos generales		12.00%	10.79
	Utilidad		10.00%	8.99
	Beneficios sociales		55.00%	25.77
	I.V.A. s/mano de obra		14.94%	7.00
	SUBTOTAL			142.45
	Transaccion		3.09%	4.40
	PRECIO UNITARIO		Bs.	146.85
			\$us.	21.10

Proyecto	EVALUACION DE METODOLOGIAS PARA LA REPARACION DE PAV. DE CONCRETO			Fecha	:	JULIO, 2012
Ubicación	PAVIMENTADO DE LA LOCALIDAD DE CARAPARI			Item	:	4
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
Actividad	RESTITUCION DE SUBBASE Y SUBRASANTE MEJORADA			Unidad	:	m³
Especificacion	EXCAVACION Y RELLENO-COMPACTADO			Bs/\$us	:	6.960
				PRECIO (Bs.)		
DESCRIPCION		UNIDAD	RENDIMIENTO	UNITARIO	PARCIAL	
MATERIALES						
MATERIAL SELECCIONADO PARA SUBBASE						
Y SUBRASANTE MEJORADA		M³	1.20	90.00	108.00	
AGUA		M³	0.10	0.00	0.00	
					0.00	
COSTO UNITARIO DE MATERIALES					108.00	
MANO DE OBRA						
OPERADOR EQUIPO PESADO		HR	0.04	240.00	9.60	
OPERADOR EQUIPO LIVIANO		HR	0.40	15.75	6.30	
PEON		HR	0.4	10.5	4.20	
Mano de obra indirecta				5.00%	1.01	
COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA					21.11	
MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS						
VOLQUETE 12 m³		M³	1.0000	15.00	15.00	
RETROEXCAVADORA		HR	0.0500	224.00	11.20	
COMPACTADORA MANUAL		HR	0.3500	20.00	7.00	
Desgaste de herramientas y equipo				5.00%	1.06	
COSTO UNITARIO DE HERRAMIENTAS Y EQUIPO					34.26	
		COSTO DIRECTO			163.36	
		Gastos generales		12.00%	19.60	
		Utilidad		10.00%	16.34	
		Beneficios sociales		55.00%	11.61	
		I.V.A. s/mano de obra		14.94%	3.15	
		SUBTOTAL			214.06	
		Transaccion		3.09%	6.61	
		PRECIO UNITARIO		Bs.	220.67	
				\$us.	31.71	

Proyecto	EVALUACION DE METODOLOGIAS PARA LA REPARACION DE PAV. DE CONCRETO			Fecha	: JULIO, 2012
Ubicación	PAVIMENTADO DE LA LOCALIDAD DE CARAPARI			Item	: 5
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Actividad	INSTALACION DE BARRAS DE AMARRE			Unidad	: MI
Especificacion	LOSAS DE GRAN LONGITUD, PERFORACION C/0.75, LONG. 0.5M			Bs/\$us	: 6.960
				PRECIO (Bs.)	
DESCRIPCION		UNIDAD	RENDIMIENTO	UNITARIO	PARCIAL
MATERIALES					
ACERO CORRUGADO 1/2"		KG	1.05	8.42	8.84
ALAMBRE DE AMARRE		KG	0.05	13.00	0.65
COSTO UNITARIO DE MATERIALES					9.49
MANO DE OBRA					
PEON		HR	0.08	10.50	0.84
ARMADOR		HR	0.06	14.75	0.89
Mano de obra indirecta				5.00%	0.09
COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA					1.81
MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
CIZALLA DE CORTE		PZA	0.0800	40.00	3.20
TALADRO MANUAL		PZA	0.0500	25.00	1.25
Desgaste de herramientas y equipo				5.00%	0.09
COSTO UNITARIO DE HERRAMIENTAS Y EQUIPO					4.54
		COSTO DIRECTO			15.84
		Gastos generales		12.00%	1.90
		Utilidad		10.00%	1.58
		Beneficios sociales		55.00%	1.00
		I.V.A. s/mano de obra		14.94%	0.27
		SUBTOTAL			20.60
		Transaccion		3.09%	0.64
		PRECIO UNITARIO		Bs.	21.23
				\$us.	3.05

Proyecto	EVALUACION DE METODOLOGIAS PARA LA REPARACION DE PAV. DE CONCRETO			Fecha :	JULIO, 2012
Ubicación	PAVIMENTADO DE LA LOCALIDAD DE CARAPARI			Item :	6
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Actividad	RESTITUCIÓN DE LOSAS DE CONCRETO			Unidad :	M^3
Especificacion	movilizacion, colocado, vibrado y enrasado			Bs/\$us :	6.960
				PRECIO (Bs.)	
DESCRIPCION		UNIDAD	RENDIMIENTO	UNITARIO	PARCIAL
MATERIALES					
CEMENTO PORTALND IP40		KG	350.00	1.07	374.50
ARENA COMUN		M^3	0.45	120.75	54.34
GRAVA COMUN		M^4	0.92	120.75	111.09
CLAVOS		KG	0.25	26.00	6.50
ALAMBRE		KG	0.40	26.00	10.40
COSTO UNITARIO DE MATERIALES					556.83
MANO DE OBRA					
OPERARIO DE CAMION MIXER		HR	0.4000	18.75	7.50
OPERADOR DE EQUIPO		HR	0.30	18.75	5.63
MAESTRO		HR	0.04	15.25	0.61
PEON		HR	0.07	10.5	0.74
Mano de obra indirecta				5.00%	0.72
COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA					15.19
MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
CAMION MIXER		M^3	1.0000	15.00	15.00
VIBRADOR DE INMERSION MANUAL		HR	0.0400	13.00	0.52
Desgaste de herramientas y equipo				5.00%	0.76
COSTO UNITARIO DE HERRAMIENTAS Y EQUIPO					16.28
		COSTO DIRECTO			588.30
		Gastos generales		12.00%	70.60
		Utilidad		10.00%	58.83
		Beneficios sociales		55.00%	8.36
		I.V.A. s/mano de obra		14.94%	2.27
		SUBTOTAL			728.35
		Transaccion		3.09%	22.51
		PRECIO UNITARIO		Bs.	750.86
				\$us.	107.88

Proyecto	EVALUACION DE METODOLOGIAS PARA LA REPARACION DE PAV. DE CONCRETO			Fecha :	JULIO, 2012
Ubicación	PAVIMENTADO DE LA LOCALIDAD DE CARAPARI			Item :	7
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Actividad	TEXTURIZADO Y CURADO			Unidad :	M^2
Especificacion				Bs/\$us :	6.960
				PRECIO (Bs.)	
DESCRIPCION		UNIDAD	RENDIMIENTO	UNITARIO	PARCIAL
MATERIALES					
ANTISOL		LT	0.30	20.00	6.00
TEXTURIZADOR		PZA	0.05	40.00	2.00
COSTO UNITARIO DE MATERIALES					8.00
MANO DE OBRA					
ALBAÑIL		HR	0.02	18.75	0.38
PEON		HR	0.09	10.50	0.89
Mano de obra indirecta				5.00%	0.06
COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA					1.33
MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
Desgaste de herramientas y equipo				5.00%	0.07
COSTO UNITARIO DE HERRAMIENTAS Y EQUIPO					0.07
		COSTO DIRECTO			9.40
		Gastos generales		12.00%	1.13
		Utilidad		10.00%	0.94
		Beneficios sociales		55.00%	0.73
		I.V.A. s/mano de obra		14.94%	0.20
		SUBTOTAL			12.40
		Transaccion		3.09%	0.38
		PRECIO UNITARIO		Bs.	12.78
				\$us.	1.84

Proyecto	EVALUACION DE METODOLOGIAS PARA LA REPARACION DE PAV. DE CONCRETO			Fecha :	JULIO, 2012
Ubicación	PAVIMENTADO DE LA LOCALIDAD DE CARAPARI			Item :	8
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Actividad	ASERRADO Y SELLADO DE JUNTAS EN LOSAS RESTITUIDAS			Unidad :	MI
Especificacion	LOSAS RESTITUIDAS DE GRAN EXTENSION SELLADO CON SIKAFLEX			Bs/\$us :	6.960
				PRECIO (Bs.)	
DESCRIPCION		UNIDAD	RENDIMIENTO	UNITARIO	PARCIAL
MATERIALES					
DISCO DE CORTE		PZA	0.01	325.00	3.25
JUNTA SELLADORA SIKAFLEX		KG	0.09	19.95	1.80
COSTO UNITARIO DE MATERIALES					5.05
MANO DE OBRA					
OPERADOR		HR	0.15	20.00	3.00
MAESTRO COLOCADOR		HR	0.08	18.75	1.50
PEON		HR	0.08	10.5	0.84
Mano de obra indirecta				5.00%	0.27
COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA					5.61
MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
MAQUINA CORTADORA DE CONCRETO		HR	0.1500	150.00	22.50
Desgaste de herramientas y equipo				5.00%	0.28
COSTO UNITARIO DE HERRAMIENTAS Y EQUIPO					22.78
		COSTO DIRECTO			33.43
		Gastos generales		12.00%	4.01
		Utilidad		10.00%	3.34
		Beneficios sociales		55.00%	3.08
		I.V.A. s/mano de obra		14.94%	0.84
		SUBTOTAL			44.71
		Transaccion		3.09%	1.38
		PRECIO UNITARIO		Bs.	46.09
				\$us.	6.62

Proyecto	EVALUACION DE METODOLOGIAS PARA LA REPARACION DE PAV. DE CONCRETO			Fecha :	JULIO, 2012
Ubicación	PAVIMENTADO DE LA LOCALIDAD DE CARAPARI			Item :	9
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Actividad	RELLADO DE FISURAS CON SIKAFLEX			Unidad :	MI
Especificacion	RANURADO CON DISCO Y SELLADO CON SIKAFLEX			Bs/\$us :	6.960
				PRECIO (Bs.)	
DESCRIPCION		UNIDAD	RENDIMIENTO	UNITARIO	PARCIAL
MATERIALES					
DISCO DE CORTE		PZA	0.01	325.00	3.25
JUNTA SELLADORA SIKAFLEX		KG	0.09	19.95	1.80
COSTO UNITARIO DE MATERIALES					5.05
MANO DE OBRA					
OPERADOR		HR	0.15	20.00	3.00
MAESTRO COLOCADOR		HR	0.08	18.75	1.50
PEON		HR	0.08	10.5	0.84
Mano de obra indirecta				5.00%	0.27
COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA					5.61
MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
MAQUINA CORTADORA DE CONCRETO		HR	0.1500	150.00	22.50
Desgaste de herramientas y equipo				5.00%	0.28
COSTO UNITARIO DE HERRAMIENTAS Y EQUIPO					22.78
		COSTO DIRECTO			33.43
		Gastos generales		12.00%	4.01
		Utilidad		10.00%	3.34
		Beneficios sociales		55.00%	3.08
		I.V.A. s/mano de obra		14.94%	0.84
		SUBTOTAL			44.71
		Transaccion		3.09%	1.38
		PRECIO UNITARIO		Bs.	46.09
			\$us.	6.62	

Proyecto	EVALUACION DE METODOLOGIAS PARA LA REPARACION DE PAV. DE CONCRETO			Fecha :	JUNIO, 2012
Ubicación	PAVIMENTADO DE LA LOCALIDAD DE CARAPARI			Item :	10
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
Actividad	LIMPIEZA Y RETIRO DE ESCOMBROS			Unidad :	M^3
Especificacion	RETIRO CON CARGUEO			Bs/\$us :	6.960
				PRECIO (Bs.)	
DESCRIPCION		UNIDAD	RENDIMIENTO	UNITARIO	PARCIAL
MATERIALES					
COSTO UNITARIO DE MATERIALES					0.00
MANO DE OBRA					
OPERADOR		HR	0.05	18.75	0.94
PEON		HR	0.80	8.00	6.40
Mano de obra indirecta				5.00%	0.37
COSTO UNITARIO DE MANO DE OBRA					7.70
MAQUINARIA, EQUIPO Y HERRAMIENTAS					
VOLQUETA		M^3	1.00	10.00	10.00
RETROEXCAVADORA		HR	0.010	224.00	2.24
Desgaste de herramientas y equipo				5.00%	0.39
COSTO UNITARIO DE HERRAMIENTAS Y EQUIPO					12.63
		COSTO DIRECTO			20.33
		Gastos generales		12.00%	2.44
		Utilidad		10.00%	2.03
		Beneficios sociales		55.00%	4.24
		I.V.A. s/mano de obra		14.94%	1.15
		SUBTOTAL			30.19
		Transaccion		3.09%	0.93
		PRECIO UNITARIO		Bs.	31.12
				\$us.	4.47

5.5.3. Presupuesto

Proyecto :	EVALUACION DE METODOLOGIAS PARA LA REPARACION DE PAV. DE CONCRETO	Fecha :	JUNIO, 2012
Ubicación :	PAVIMENTADO DE LA LOCALIDAD DE CARAPARI	Bs/\$us:	6.960

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO (Bs)	
				UNITARIO	PARCIAL
1	Señalización	glb	10.00	62.93	629.3
2	Demarcado de areas	m^2	932.90	0.88	820.7
3	Demolicion de losas	m^3	186.60	146.85	27,402.2
4	Restitucion de subase y subrasante mejorada	m^3	364.37	220.67	80,408.2
5	Instalacion de barras de amarre	ml	334.27	21.23	7,097.0
6	Restitucion de losas de Concreto	m^3	186.57	750.86	140,089.7
7	Texturizado y curado	m^2	932.90	12.78	11,921.2
8	Aserrado y sellado de juntas en losas restauradas con SIKAFLEX	ml	824.4	46.09	37,997.5
9	Resellado de juntas deterioradas con SIKAFLEX	ml	465.92	46.09	21,474.8
10	Limpieza y retiro general de escombros	m^3	569.00	31.12	17,709.2
COSTO TOTAL DEL PROYECTO				BS.	345,549.9
				\$US	49,648.0

Capítulo VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Ante el creciente empleo del concreto como material de la carpeta de rodadura para vías de alto mediano y bajo tráfico, surge la necesidad de establecer metodologías y procedimientos de reparación que brinden una solución efectiva, duradera y económica que garantice un correcto desempeño, durante el periodo de diseño establecido.

Para desarrollar correctamente el estudio de las metodologías de reparación, se requirió una aplicación práctica, la misma se realizó en el proyecto “CONSTRUCCIÓN PAVIMENTO RÍGIDO CARAPARI”, este proyecto fue ejecutado hasta agosto de 2011, luego de concluido el mismo, se presentaron fallas, de manera prematura en la carpeta de concreto hidráulico, que requerían ser reparadas rápida y efectivamente, de forma que no ocasionara grandes molestias a los usuarios.

Para evaluar el estado del pavimento, mínimamente se debe realizar una inspección visual de todos los tramos pavimentados y analizar los datos de diseño, lo que permitirá determinar los deterioros o fallas presentadas, las causas y su efecto, en la estructura del pavimento.

Luego de realizada la evaluación de los tramos pavimentados se definieron las siguientes fallas; fisuras (transversales, longitudinales principalmente) y deterioro del material de sello en juntas, se definió la causa de las fallas, producidas por una subrasante de suelos con arcillas y suelos limo-arcillosos, y se determinó su efecto en la estructura, producción de asentamientos en áreas localizadas.

Después de evaluar el comportamiento y estado el pavimento, se deberá analizar las posibles estrategias de reparación a ejecutar considerando la factibilidad para su construcción y compatibilidad con la estructura del pavimento, orientando a la selección de las intervenciones.

Producto del análisis de las fallas encontradas en las vías en estudio y debido a que estas son fallas localizadas, sumadas al hecho de tratarse de una vía recientemente ejecutada, se determinó la aplicación de las siguientes metodologías propuestas en este estudio:

- Reparación en espesor total: en grietas o fisuras de severidad alta que representan el 80% del total de fisuras.
- Resellado de juntas y fisuras con sellante (SIKAFLEX 15ML SL): en grietas o fisuras de baja severidad y juntas que presentaban deterioro en el material de sello.

Con el fin de garantizar la vida útil del pavimento de la localidad de Carapari, y restaurarlas a una condición cercana o mejor a la original, reduciendo la necesidad de intervenciones mayores y más costosas. Una vez establecidas los tipos de reparaciones se definieron ejecutar las mismas de forma inmediata en las vías de análisis en la localidad de Carapari.

Se deberá definir los materiales a usar en las reparaciones del pavimento, en base a los requerimientos de la reparación, condiciones de servicio y exposición, además de las propiedades de los mismos materiales.

Para determinar los mejores materiales en el caso de reparaciones en espesor total, de los datos de diseño del proyecto, para el módulo de pavimento rígido, se analizaron los resultados de los ensayos de laboratorio, determinando que los materiales usados para el pavimentado, cumplen con las especificaciones del proyecto y las normas establecidas en caso de la restitución de subrasante y agregados para el concreto, por lo tanto se determinó utilizar los mismos materiales en las reparaciones. Para el caso de resellado de juntas y fisuras, se requería un material que además de cumplir con las especificaciones propias de un material de sellado, brinde un aspecto confortable estéticamente para los usuarios, por lo tanto se determinó utilizar el sellante (SIKAFLEX 15ML SL).

Se deberá realizar un control de calidad, tanto en la ejecución de las reparaciones y después de ejecutadas, verificando que cumplan con los requerimientos, tanto en materiales como de procedimientos y resultados obtenidos.

Se analizara el costo y generara un presupuesto de las reparaciones practicadas, estableciendo si las mismas significan un gasto económico elevado; en el proyecto “CONSTRUCCIÓN PAVIMENTO RÍGIDO CARAPARI”.

Resultado de las reparaciones se restituyo la carpeta de rodadura de concreto hidráulico al pavimento de Carapari en su conjunto, obteniendo resultados satisfactorios observando que no se produjo reflexión de fallas “fisuras” y constituyéndose en alternativas adecuadas, debido a que se efectúan con medios y equipos propios de la construcción de pavimentos de

concreto hidráulico, no requiriendo equipos especiales, y su ejecución es sencilla. Concluyendo que su aplicación en nuestro medio, es practicable y recomendable realizarlas en su debido tiempo.

Recomendaciones

Antes de proponer una reparación de pavimentos de concreto, mediante estas metodologías, se recomienda la evaluación minuciosa de las fallas que se presenta la carretera, para así contar con información necesaria para la elección del tipo de refuerzo que se vaya a emplear.

La limpieza del área a reparar es de suma importancia previo al aplicación del material de sellado de juntas, porque es fundamental el garantizar la adherencia de las losas contiguas, con el material sellante a fin de evitar la inclusión de materiales incompresibles o la infiltración de humedad, por lo que la limpieza de material suelto y polvo deben ser muy minuciosas.

En cuanto a la reparación de espesor total se debe ser muy cuidadoso en la remoción del concreto deteriorado, pues demoler las áreas deterioradas se pueden ocasionar daños en la subbase, y esto obligaría a la reposición del material, causando un costo extra que afectaría en gran medida el presupuesto.

Se deberá restringir completamente el paso de vehículos en las zonas reparadas, durante su proceso de curado o secado de manera que solo se abrirá al tráfico cuando estas hayan alcanzado sus propiedades y resistencias necesarias.

Las especificaciones del hormigón para la elaboración de las Reparaciones de espesor total son las mismas que se piden cuando se trata de realizar un pavimento rígido nuevo, es decir el hormigón utilizado en el pavimento debe ser el mismo para la reparación.

Es fundamental tomar en cuenta en la ejecución de las reparaciones de espesor total, es que se siga lo especificado en cuanto a la transferencia de cargas, es decir el correcto posicionamiento del acero y las formaletas en juntas.

La calidad y su duración de las reparaciones dependen fundamentalmente de los materiales utilizados es por eso que se hizo un análisis de los mismos mediante ensayos de laboratorio tanto en el material de la subrasante y subbase como los agregados del concreto y la

revisión de las propiedades del sellador SIKAFLEX, además de la correcta ejecución de los mismos, por esto vale mencionar que estos no constituyen una norma pudiendo obviar o adicionar actividades que se requieran para diferentes situaciones de una vía.

Resulta mejor el enfocarse en las etapas de evaluación, pues esto nos brindara información muy importante, pudiendo significar un gran aumento en la relación costo beneficio pues conociendo a cabalidad las causas y efectos de los deterioros, se podrán plantear soluciones específicas que ataquen de manera eficaz los problemas encontrados.