

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Es responsabilidad de los ingenieros estudiar las diferentes alternativas de rehabilitación de pavimentos de concreto, realizando un estudio comparativo que permita elegir la alternativa técnica más adecuada.

Una opción a considerar en el refuerzo de cualquier tipo de calzada, sea rígido o flexible, es la extensión sobre el mismo de una sobre capa de hormigón, con lo que se consigue un incremento muy notable de la capacidad de soporte del pavimento a reforzarse.

El tema de rehabilitación de pavimentos de concreto con sobre capas de refuerzo nace paralelamente a la construcción de carreteras. el primer trabajo que se tiene memoria acerca de este tipo de aplicaciones tuvo lugar en la unión Street, de la ciudad de Schenectady, estados unidos, en el año de 1909, donde se construyó un recubrimiento de concreto con espesores variables entre 3.8 cm en los bordes y 7.6 cm en el centro sobre un pavimento de concreto simple. la obra prestó servicio por 12 años. Desde entonces el tema de rehabilitación con sobre capas de refuerzo ha adquirido mucha importancia en los proyectos viales. se han publicado diversas guías de diseño referidas al tema, entre las que destacan la publicada por el instituto del asfalto en el año 1983 denominada “Sobre capas asfálticas para la rehabilitación de calles y carreteras”, y la publicada por la AASHTO en el año 1993, los capítulos 7 y 8 titulados “sobre carpeta de hormigón adherida y no adherida a pavimento existente de hormigón”.

En Bolivia tenemos el documento realizado por la ABC “Administradora Boliviana de Carreteras” en noviembre del 2011, titulado “ESTUDIO Y DISEÑO DE OBRAS PARA LA REHABILITACIÓN DE LA AUTOPISTA LA PAZ – EL

ALTO”. Donde se estableció que las estructuras que se mantendrán serán rehabilitadas con sobre carpeta de hormigón no adherida, como solución óptima para el diseño de pavimentos.

En investigaciones mas recientes tenemos la publicada guía técnica por IECA “Instituto Español de Cemento y sus Aplicaciones” en enero del 2013, titulado “Refuerzos con hormigón de pavimentos de hormigón” mostrándonos las ventajas medioambientales, económicas y técnicas dentro de la ejecución de este tipo.

1.2 Justificación

En Tarija y en general en todo Bolivia, es poco lo que se ha hecho por aplicar este tipo de rehabilitación, debido al desconocimiento o poca difusión de los métodos, técnicas, equipos y materiales que son utilizados, en otros países de forma efectiva. Motivado por esta carencia y la gran importancia que puede representar en el aspecto innovador técnico aplicarlas oportunamente, evitando la destrucción total del pavimento, se presenta este trabajo de investigación que pretende difundir el uso de sobre-capas de refuerzo como una alternativa de solución en la rehabilitación de los pavimentos de concreto.

El presente proyecto de grado tiene como propósito dar a conocer los refuerzos en pavimento, en condiciones adheridas y no adheridas, que se pueden aplicar sobre los pavimentos rígidos existentes y mostrar el procedimiento de diseño de cada uno de ellos. Realizar la investigación para que de acuerdo a los resultados obtenidos en el ejemplo de aplicación, se exponga que la metodología propuesta es aplicable a los pavimentos de concreto de nuestra ciudad. Presentando una alternativa técnica durable en el tiempo.

Esta investigación será útil para aquellas empresas y profesionales con visión innovadora quieran ejecutar la mejora de algún tramo vial aplicando esta técnica de refuerzo adherido y no adherido en pavimentos rígidos.

1.3 Diseño teórico

1.3.1 Situación problemática.-

Cada uno de los periodos que podemos dividir la evolución de la construcción hasta nuestros días, ha estado marcado por métodos de trabajo, creación de nuevas técnicas, materiales mejores y sistema de producción superiores, impuestos por las exigencias y necesidades de cada época. Situándonos en la actualidad de esta historia unas de las aportaciones más interesantes en la construcción de pavimentos que forman parte de la currícula de la especialidad Vial. Sus contenidos forman permanente de cambios tecnológicos a medida que pasa el tiempo, como si debe formar parte de la vida profesional de los que están en rubro carretero.

Como se puede observar es notorio el déficit de vías en el departamento de Tarija se debe a que no se hace una adecuada inversión en la ejecución de obras de pavimentación, la gran mayoría opta por construir pavimentos flexibles o asfálticos, puesto que la construcción inicial es mas barata; sin embargo estos se desgastan en periodos mas cortos, lo que conlleva a realizar continuos trabajos de reparación y mantenimiento y/o reconstrucción de vías. Y se hace necesario mejorar la tecnología en la construcción de pavimentos rígidos.

Por ello la investigación ofrece posibilidad de actualizarse en contenidos referentes al refuerzo de hormigón en condiciones adheridas y no adheridas en pavimentos existentes, evitando la destrucción total del pavimento. Como implementación al estudio de nuevas técnicas ya que en nuestros medios es poca la importancia que se la da a tan buena alternativa de rehabilitación de pavimento. La cual consiste mostrar la metodología, técnica y trabajos preliminares antes de colocación de una sobre capa de mezcla de concreto hidráulico, sobre una capa de rodadura existente ya sea esta adherida o no, la cual tenga un alto grado de deterioro que impida realizar sobre la misma, labores de mantenimiento rutinario.

1.3.2 Problema

¿Cuáles son las diferencias del comportamiento en resistencia, entre la rehabilitación de pavimentos de hormigón en condición adherida y condición no adherida?

1.3.3 Objetivos

1.3.3.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento del hormigón como sobre capa de refuerzo en condición adherida y no adherida sobre pavimento de hormigón existente, bajo condiciones locales, con la finalidad de implementar y mejorar la rehabilitación de pavimentos rígidos.

1.3.3.2 Objetivos específicos

- Analizar las propiedades características y procedimiento de ejecución para el diseño de pavimento rígido, enfocando en loza de hormigón.
- Analizar las condiciones del hormigón adherido y no adherido.
- Realizar una aplicación en laboratorio con especímenes a flexión en condiciones adheridas y no adheridas con materiales locales.
- Realizar un análisis del comportamiento en la resistencia de las muestras de investigación en condiciones adheridas y no adheridas.
- Establecer conclusiones y recomendaciones en base a los resultados obtenidos en la investigación.

1.3.4 Hipótesis

Si logramos analizar el comportamiento del hormigón en condición adherida y no adherida sobre pavimento existente de hormigón, se podrá mostrar cual es el mas adecuado para nuestro entorno bajo condiciones locales, para así optimizar el uso de los recursos invertidos, incrementa su capacidad estructural perdida por sus años de

servicio, reducir la necesidad de mantenimiento devolviéndole su servicialidad inicial al aplicar esta alternativa de rehabilitación.

1.3.5 Variables

El proceso, es una variable independiente tal se refiere a que las aplicaciones ya sea en condición adherida o no adherida tienen una fase de procedimiento particular, independiente uno de otro.

La resistencia, es una variable dependiente lo que refiere que la loza de hormigón como refuerzo en cual se de los casos, la resistencia variara en cuanto al tipo de condición en que esta se aplique, teniendo diferentes resultados entre condición adherida y condición no adherida.

1.3.6 Alcance

En el primer capítulo pretendemos dar a conocer lo que en síntesis sería la investigación, pretendiendo difundir el uso de sobre capas de refuerzo como una alternativa de solución en la rehabilitación de los pavimentos de concreto. Ya que el tema de refuerzo en rehabilitación de pavimentos de concreto nace paralelamente a la construcción de carreteras. Donde el primer trabajo que se tiene memoria acerca de este tipo de aplicaciones tuvo lugar en la Unión Street, de la ciudad de Schenectady, Estados Unidos, en el año de 1909, donde se construyó un recubrimiento de concreto con espesores variables entre 3.8 cm en los bordes y 7.6 cm en el centro, sobre un pavimento de concreto simple. La obra prestó servicio por 12 años.

Desde entonces el tema de rehabilitación con sobre capas de refuerzo ha adquirido mucha importancia en los proyectos viales. En ese sentido, la presente tesis tiene como objetivo realizar la investigación de refuerzo de hormigón en condición adherida y no adherida en pavimentos existentes, con un ejemplo físico en laboratorio, con la finalidad de implementar y/o mejorar la tecnología en la rehabilitación, que se pueden aplicar sobre los pavimentos rígidos.

Las estructuras y los pavimentos de concreto tradicionalmente han sido identificados como duraderos, como reconocimiento a su robustez y a su larga vida útil. Sin embargo, actualmente hay otros aspectos que son igualmente relevantes y que deben analizarse con detenimiento con el objeto de alcanzar una evaluación y un conocimiento sobre refuerzos para su posterior aplicación. Así obtener una visión más amplia sobre refuerzos en pavimentos existentes en condiciones adheridas y no adheridas con el objetivo de encontrar soluciones sostenibles presentando una alternativa técnica durable en el tiempo a una experiencia productiva que demuestran que los refuerzos en condiciones adheridas y no adheridas en pavimentos de concreto pueden ser una solución sostenible para nuestra sociedad que satisfacen los criterios de construcción sostenible en lo referente, al aumento de resistencia y durabilidad.

El segundo capítulo se basa el conocimiento adquirido acerca de los pavimentos rígidos en general, donde el más relevante es la experiencia del método AASHTO que comenzó a introducir conceptos mecanicistas para adecuar algunos parámetros a condiciones para el emplazamiento de un pavimento de concreto. Se ha elegido la teoría de esta norma, porque a diferencia de otros, éste introduce el concepto de serviciabilidad en el diseño de pavimentos como una medida de su capacidad para brindar una superficie lisa y suave al usuario.

En este capítulo se desarrollará en forma concisa los conceptos básicos sobre pavimentos rígidos, para tener una idea general de los tipos de pavimentos, así como de los principales elementos que conforman el pavimento de concreto como son: sub-base, losa de concreto, juntas, selladores, tipos de pavimento, etc. Asimismo, se describirá brevemente cada uno de los factores o parámetros para tener un basto conocimiento de los pavimentos rígidos.

En el tercer capítulo se muestra en un contenido textual de los diferentes conocimiento que se tiene acerca de refuerzo, necesario para la rehabilitación estructural de pavimentos rígidos o de concreto. Asimismo, se describirá de manera breve los diferentes tipos de refuerzos que se pueden aplicar sobre éstos, los cuales

pueden ser flexibles o rígidos.

Los tipos de refuerzos presentados en este capítulo están basados en el concepto de que el tiempo y las cargas de tránsito, reducen la capacidad del pavimento para resistir estas cargas, es por ello que el refuerzo será estudiado para lograr que el pavimento vuelva a ser capaz de soportar cargas en un nuevo período de diseño.

Finalmente, se muestra en este capítulo lo referente a las acciones previas que se deben tener en cuenta antes de colocar la sobre capa de refuerzo, esto referido al tema constructivo. Mostrando dentro de estos conocimientos el tema a importar de la investigación que viene a ser los refuerzos sobre pavimentos existente en condiciones adheridas y no adheridas mostrándonos en su contenido la importancia de cada uno de estos.

En el capítulo cuarto se desarrollará la investigación en su totalidad realizando una aplicación en laboratorio con prototipo a flexión en condiciones adheridas y no adheridas sobre una losa de hormigón con materiales locales. Dosificando una mezcla de concreto para determinar la combinación más práctica y la durabilidad necesaria para el tipo de condición en que se aplique.

En la etapa del concreto fresco que transcurre desde la mezcla de sus componentes hasta su colocación, las exigencias principales que deben cumplirse para obtener una dosificación apropiada son las de manejabilidad y economía de la mezcla; para el concreto endurecido son las de resistencia y durabilidad. Otras propiedades del concreto como: cambios volumétricos, fluencia, elasticidad, masa unitaria, etc., sólo son tenidas en cuenta para dosificar mezclas especiales, en cierto tipo de obras. La dosificación de concretos especiales queda fuera del alcance del presente capítulo.

Posterior al endurecimiento de la loza se pondrá en aplicación la investigación de refuerzos en ambas condiciones para obtener los resultados previos al análisis de comportamiento en la resistencia de las muestras de investigación en condiciones adherida y o adheridas.

1.4 Diseño metodológico

1.4.1 Unidad de estudio

Pavimentos rígidos y el refuerzo de estos en general.

1.4.2 Población

Rehabilitación de pavimentos en deterioro.

1.4.3 Muestra

Refuerzo de hormigón en condiciones adheridas y no adheridas.

1.4.4 Método

La metodología a seguir en la presente investigación, son:

- a) Experimentales
 - b) Evaluativos
- a) Consiste en la elaboración de dos losa de hormigón de 1m^2 , se dejara 28 días a la intemperie para que obtenga su resistencia y a su vez reflejar grado de deterioro en ese lapso de tiempo, no se la cuidará, será sometida a cargas, causando fisuras en la misma para obtener la condición de avejentes. Una vez cumplido los 28 días se proseguirá a dividirlos en dos, en la cual se aplicara un refuerzo de 5cm de hormigón en condición adherida en una mitad y en la otra condición no adherida. Para posterior a esto extraer núcleos enteros losa vieja mas refuerzo en ambas condiciones, 12 extracción de núcleo para cada condición, para someterlos a carga de resistencia, de igual manera aplicar estos refuerzos en vigas convencionales para los ensayos a

flexión, de esta manera evaluar el comportamiento en condición adherida y no adherida de la losa mas el refuerzo.

Una vez analizado los resultados en laboratorio la visión es aplicar en una losa real estas condiciones de refuerzo. Consiste en preparar una losa existente de las calles de Tarija tomando un área de 1 m² en la cual se proyectaran ambas condiciones en investigación, para posterior a esto extraer núcleos enteros losa existente mas refuerzo en ambas condiciones, 3 extracción de núcleo para cada condición y 3 de la losa sin alteraciones, para someterlos a carga de resistencia, de esta manera hacer la comparación y dar un conocimiento acerca de la investigación de cuanto influyen las propiedades en conjunto acerca de la variación de resistencia y cual condición seria la mas eficiente para nuestros medios.

En se siguiente tabla se muestra los ensayos a realizarse.

ELABORACION Y APLICACIÓN EN LOSA DE PRUEBA	UNID.	NUMERO DE ENSAYO POR CONDICION	
		ADHERIDA	NO ADHERIDA
LOSA	m2	1	1
MUESTRA DE HORMIGON	probetas	3	
REFUERZO e=5cm 240 kg/cm ²	m2	0,5	0,5
320 kg/cm ²	m2	0,5	0,5
EXTRACCION DE NUCLEO	pza.	12	12
EXTRACCION De viga de losa	pza.	6	6

INVESTIGACIÓN EN LOSA DE PAVIMENTO REAL	UNID.	ADHERIDA	NO ADHERIDA
Preparación losa existente	m2	1	
Extracción en losa existente sin alteración	-	3	
REFUERZO e=5cm	m2	0,5	0,5
EXTRACCION DE NUCLEO	pza.	3	3
TOTAL DE ENSAYOS A REALIZAR "compresión" (LOSA DE PRUEBA)			24

TOTAL DE ENSAYOS A REALIZAR "flexión" (LOSA DE PRUEBA)	12
TOTAL DE ENSAYOS A REALIZAR "compresión" (LOSA REAL)	9

En cuadro siguiente se muestra a detalle lo que se aplicara en la investigación.

Numero de ensayos	Espécimen a compresión : 33 Espécimen a flexión : 12
Método para la realización de ensayos de caracterización	En nuestro medio para realizar los ensayos de caracterización de materiales, se requiere que sus propiedades cumplan las normas ASTM.
Dosificaciones	Para realizar una dosificación de hormigón se utilizara la tabla de relaciones agua/cemento especificada en el código ACI
Resistencias características a analizarse	El concreto por colocar tendrá una resistencia ideal a flexión de 45 kg/cm ² y a compresión de 240kg/cm ² como resistencia mínima y 320kg/cm ² como mayor a los 28 días, lo cual se obtendrá por medio de las cantidades adecuadas de dosificación.
Procedimiento de ensayos	Flexión/Compresión MONOLITICA
Rangos de espesores para el refuerzo	En general, los espesores de refuerzo de hormigón varían entre 2 y 6 pul (5 a 15 cm), siendo lo más común adoptar espesores de 2 a 4 pul (5 a 10 cm).

b) La investigación a través de métodos evaluativos analizara los siguientes aspectos fundamentales:

Análisis del incremento de resistencia en estado final (pavimento deteriorado mas refuerzo) en ambas condiciones a estudiarse, con relación a la resistencia

inicial que presentaba antes de la aplicación de refuerzo de esta manera recopilar datos y resultados del método experimental para de acorde a estos realizar los análisis correspondientes en plataforma, obteniendo resultados finales y de esta manera establecer conculcaciones y recomendaciones de la investigación a realizarse.

1.5 Estadística

La Estadística trata del recuento, ordenación y clasificación de los datos obtenidos por las observaciones, para poder hacer comparaciones y sacar conclusiones.

Un estudio estadístico consta de las siguientes fases:

- Recogida de datos.
- Organización y representación de datos.
- Análisis de datos.
- Obtención de conclusiones.

Para resumir la información obtenida de la muestra se utilizan una serie de parámetros que se denominan medidas de centralización.

La media aritmética representa el valor medio que toman los datos de una observación estadística. Se calcula sumando todos los resultados y dividiendo la suma entre el número de registros. La media aritmética tan sólo se puede calcular con datos numéricos (no se puede calcular con datos cualitativos).

$$\text{Media} = \frac{\sum \text{ todos los resultados}}{\text{N}^\circ \text{ de datos}}$$

La moda es el resultado más repetido en una observación estadística (se puede calcular con datos numéricos y cualitativos).

La mediana es el valor que toma la variable de manera que al ordenarla de menor a mayor quedaría justo en el centro, siendo el 50% de los registros menores

que ella y el otro 50% superiores a ella.

Varianza suele representarse como σ^2 de una variable aleatoria es una medida de dispersión definida como la esperanza del cuadrado de la desviación de dicha variable respecto a su media.

Está medida en unidades distintas de las de la variable. Por ejemplo, si la variable mide una distancia en metros, la varianza se expresa en metros al cuadrado. La desviación estándar es la raíz cuadrada de la varianza, es una medida de dispersión alternativa expresada en las mismas unidades de los datos de la variable objeto de estudio. La varianza tiene como valor mínimo 0. Hay que tener en cuenta que la varianza puede verse muy influida por los valores atípicos y no se aconseja su uso cuando las distribuciones de las variables aleatorias tienen colas pesadas. En tales casos se recomienda el uso de otras medidas de dispersión más robustas.

Si tenemos un conjunto de datos de una misma variable, la varianza se calcula de la siguiente forma:

$$s_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2 \right) - \bar{x}^2$$

Siendo:

x_i : Cada dato

n : El número de datos

\bar{x} : la media aritmética de los datos

Desviación estándar suele representarse como σ o s , es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o cantidades racionales) y de intervalo. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

Para conocer con detalle un conjunto de datos, no basta con conocer las

medidas de tendencia central, sino que necesitamos conocer también la desviación que presentan los datos en su distribución respecto de la media aritmética de dicha distribución, con objeto de tener una visión de los mismos más acorde con la realidad al momento de describirlos e interpretarlos para la toma de decisiones. La Desviación Estándar es la raíz cuadrada de la varianza de la distribución de probabilidad discreta:

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$$

Coefficiente de variación Suele representarse por medio de las siglas C.V. En estadística, cuando se desea hacer referencia a la relación entre el tamaño de la media y la variabilidad de la variable, se utiliza el coeficiente de variación.

Su fórmula expresa la desviación estándar como porcentaje de la media aritmética, mostrando una mejor interpretación porcentual del grado de variabilidad que la desviación estándar. Por otro lado presenta problemas ya que a diferencia de la desviación estándar este coeficiente es variable ante cambios de origen. Por ello es importante que todos los valores sean positivos y su media dé, por tanto, un valor positivo. A mayor valor del coeficiente de variación mayor heterogeneidad de los valores de la variable; y a menor C.V., mayor homogeneidad en los valores de la variable.

Exigimos que: $\bar{x} > 0$

Se calcula:

$$C.V. = \frac{\sigma}{|\bar{X}|}$$

Donde σ es la desviación típica. Se puede dar en tanto por ciento calculando:

$$C.V. = \frac{\sigma}{|\bar{X}|} * 100$$

CAPÍTULO II PAVIMENTOS RÍGIDOS

2.1 Introducción a los pavimentos rígidos

2.1.1 Definición

Un pavimento de concreto o pavimento rígido consiste básicamente en una losa de concreto simple o armado, apoyada directamente sobre una base o sub-base. La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la sub-rasante. Todo lo contrario sucede en los pavimentos flexibles, que al tener menor rigidez, transmiten los esfuerzos hacia las capas inferiores lo cual trae como consecuencia mayores tensiones en la sub-rasante, como se puede apreciar en la figura 2.1.

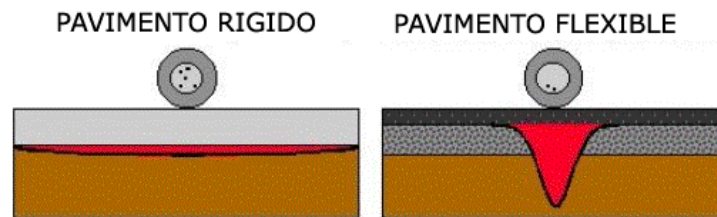


Figura 2.1 Esquema del comportamiento de pavimentos

2.2 Elementos que integran un pavimento rígido.

Los elementos que conforman un pavimento rígido son: Sub-rasante, sub-base y la losa de concreto. A continuación se hará una breve descripción de cada uno de los elementos que conforman el pavimento rígido.

2.2.1 Sub-rasante

La sub-rasante es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. Su función es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, mucho más

importante es que la sub-rasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte. Por lo tanto, se debe tener mucho cuidado con la expansión de suelos. ⁽¹⁾

2.2.2 Sub-base

La capa de sub-base es la porción de la estructura del pavimento rígido, que se encuentra entre la sub-rasante y la losa rígida. Consiste de una o más capas compactas de material granular o estabilizado; la función principal de la sub-base es prevenir el bombeo de los suelos de granos finos. La sub-base es obligatoria cuando la combinación de suelos, agua, y tráfico pueden generar el bombeo. Tales condiciones se presentan con frecuencia en el diseño de pavimentos para vías principales y de tránsito pesado.

Entre otras funciones que debe cumplir son:

- Proporcionar uniformidad, estabilidad y soporte uniforme.
- Incrementar el módulo (K) de reacción de la sub-rasante.
- Minimizar los efectos dañinos de la acción de las heladas.
- Proveer drenaje cuando sea necesario.
- Suministrar una plataforma de trabajo para los equipos de construcción.

2.2.3 Superficie de rodadura

La superficie de rodadura en un pavimento rígido es básicamente una losa de concreto de cemento portland. Donde el factor mínimo de cemento debe determinarse en base a ensayos de laboratorio y por experiencia previas de resistencia y durabilidad. Se deberá usar concreto con aire incorporado donde sea necesario facilitar resistencia al deterioro superficial debido al hielo-deshielo, a las sales o para mejorar la trabajabilidad de la mezcla.

(1) Sub-rasantes y subbases para pavimento de concreto de la American Concrete Pavement Association (ACPA)

2.3 Tipos de pavimentos rígidos

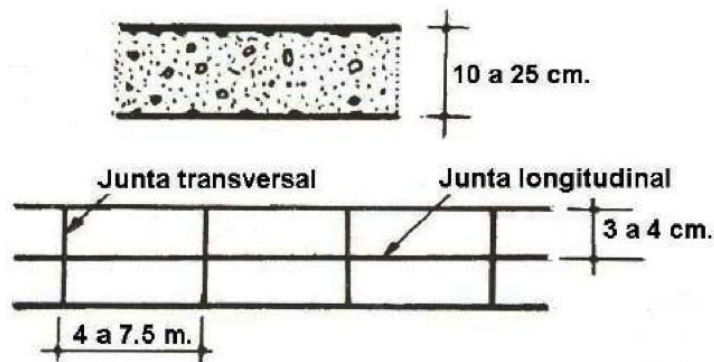
Los diversos tipos de pavimentos de concreto pueden ser clasificados, en orden de menor a mayor costo inicial, de la siguiente manera: (2)

- Pavimentos de concreto simple.
 - Sin pasadores.
 - Con pasadores.
- Pavimentos de concreto reforzado con juntas
- Pavimentos de concreto con refuerzo continuo.

2.3.1 Concreto hidráulico simple

2.3.1.1 Concreto hidráulico simple sin pasadores

Son pavimentos que no presentan refuerzo de acero ni elementos para transferencia de cargas, ésta se logra a través de la trabazón (interlock) de los agregados entre las caras agrietadas debajo de las juntas aserradas o formadas. Para que esta transferencia sea efectiva, es necesario que se use un espaciamiento corto entre juntas. Están constituidos por losas de dimensiones relativamente pequeñas, en general menores de 6 m de largo y 3.5 m de ancho. Los espesores varían de acuerdo al uso previsto. Por ejemplo para calles de urbanizaciones residenciales, éstos varían entre 10 y 15 cm, en las denominadas colectoras entre 15 y 17 cm. En carreteras se obtienen espesores de 16 cm. En aeropistas y autopistas 20 cm o más. Este tipo de pavimento es aplicable en caso de tráfico ligero y clima templado y generalmente se apoyan directamente sobre la subrasante.

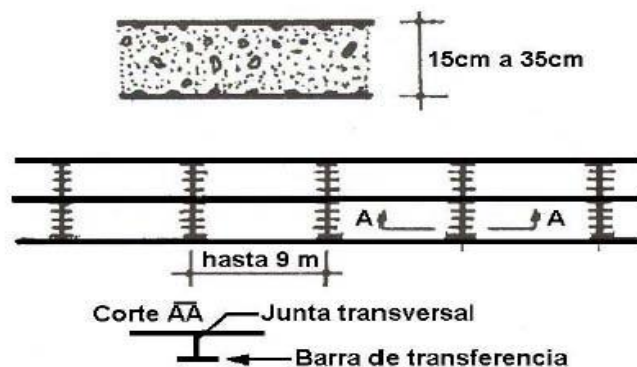


*Figura 2.2 Pavimento de concreto simple sin pasadores**

2.3.1.2 Concreto hidráulico simple con pasadores

Los pasadores (dowels) son pequeñas barras de acero liso, que se colocan en la sección transversal del pavimento, en las juntas de contracción. Su función estructural es transmitir las cargas de una losa a la losa contigua, mejorando así las condiciones de deformación en las juntas. De esta manera, se evitan los desplazamientos verticales diferenciales (escalonamientos).

Según la Asociación de Cemento Portland (PCA, por sus siglas en inglés), este tipo de pavimento es recomendable para tráfico diario que exceda los 500 ESALs (ejes simples equivalentes), con espesores de 15 cm o más.



*Figura 2.3 Pavimento de concreto simple con pasadores**

2.3.2 Concreto hidráulico reforzado

Los pavimentos reforzados con juntas contienen además del refuerzo, pasadores para la transferencia de carga en las juntas de contracción. Este refuerzo puede ser en forma de mallas de barras de acero o acero electro soldado. El objetivo de la armadura es mantener las grietas que pueden llegar a formarse bien unidas, con el fin de permitir una buena transferencia de cargas y de esta

(2) Boletín técnico N0 81 de la Asociación de Productores de Cementos del Perú (ASOCEM).

*Tomado del boletín técnico No 81, publicado por la ASOCEM.

manera conseguir que el pavimento se comporte como una unidad estructural.

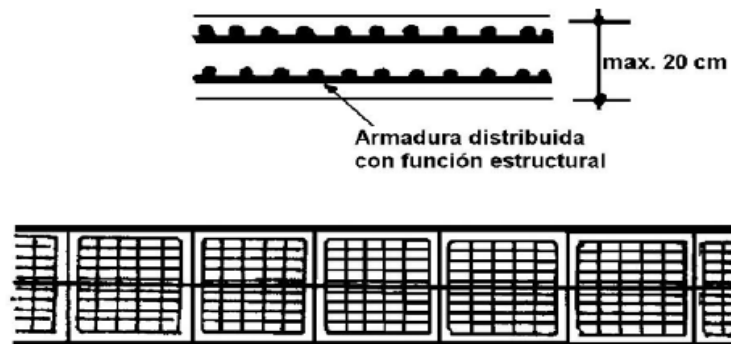


Figura 2.4 Pavimento de concreto reforzado*

2.3.3 Concreto hidráulico reforzado continuo

A diferencia de los pavimentos de concreto reforzado con juntas, éstos se construyen sin juntas de contracción, debido a que el refuerzo asume todas las deformaciones, específicamente las de temperatura. El refuerzo principal es el acero longitudinal, el cual se coloca a lo largo de toda la longitud del pavimento. El refuerzo transversal puede no ser requerido para este tipo de pavimentos.

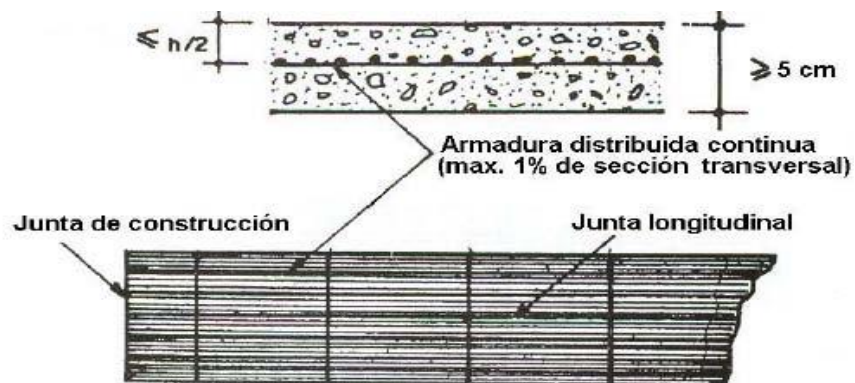


Figura 2.5 Pavimento con refuerzo continuo*

*Tomado del boletín técnico No 81, publicado por la ASOCEM.

2.3.4 Juntas

La función de las juntas consiste en mantener las tensiones de la losa provocadas por la contracción y expansión del pavimento dentro de los valores admisibles del concreto; o disipar tensiones debidas a agrietamientos inducidos debajo de las mismas losas.

Son muy importantes para garantizar la duración de la estructura, siendo una de las pautas para calificar la bondad de un pavimento. Por otro lado, deben ser rellenadas con materiales apropiados, utilizando técnicas constructivas específicas. En consecuencia, la conservación y oportuna reparación de las fallas en las juntas son decisivas para la vida útil de un pavimento.

De acuerdo a su ubicación respecto de la dirección principal o eje del pavimento, se designa como longitudinales y transversales. Según la función que cumplen se les denomina de contracción, articulación, construcción expansión y aislamiento. Según la forma, se les denomina, rectas, amachimbradas y acanaladas.

2.3.4.1 Juntas de contracción

Su objetivo es inducir en forma ordenada la ubicación del agrietamiento del pavimento causada por la contracción (retracción) por secado y/o por temperatura del concreto. Se emplea para reducir la tensión causada por la curvatura y el alabeo de losas. Los pasadores se pueden usar en las juntas de contracción para la transferencia de cargas, bajo ciertas condiciones. Sin embargo, se espera que la transferencia de cargas se logre mediante la trabazón entre los agregados.

En la figura 2.6 se observan los diferentes tipos de juntas de contracción

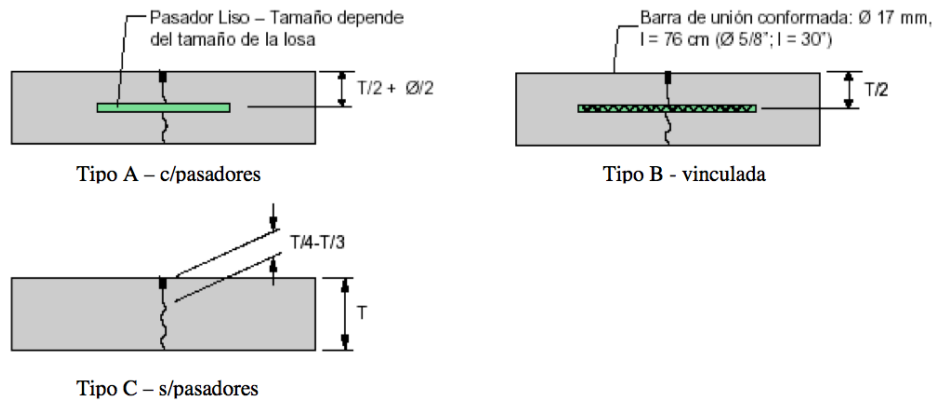


Figura 2.6 Tipos de juntas de contracción*

2.3.4.2 Juntas de construcción

Las juntas de construcción separan construcciones contiguas colocadas en diferentes momentos, tales como la colocación al final del día o entre fajas de pavimentación. La transferencia de cargas se logra mediante el empleo de pasadores. Pueden ser transversales o longitudinales. En la figura 2.7 se observan los diferentes tipos de juntas de construcción.

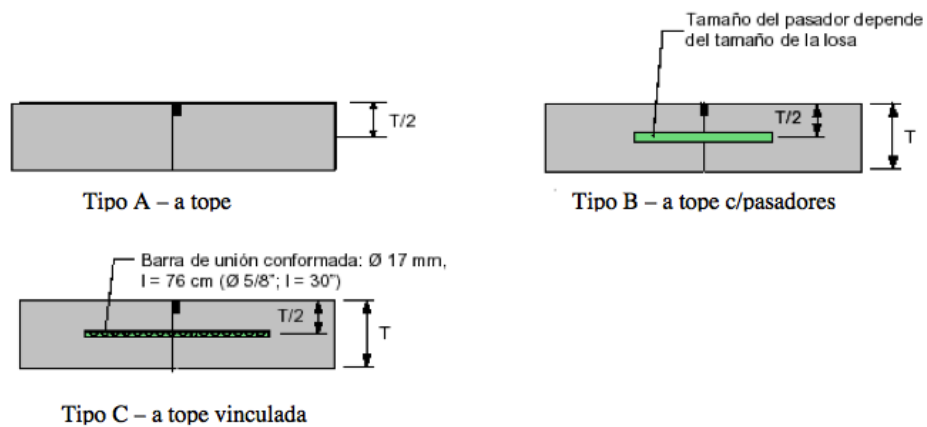


Figura 2.7 Tipos de juntas de construcción*

*Tomado del artículo "Design and construction of joint for concrete highways", publicado por la American Concrete Pavement Association (ACPA).

2.3.4.3 Juntas de expansión

Se usan para aislar pavimentos que se interceptan con la finalidad de disminuir los esfuerzos de compresión en éstos, cuando se expanden por el aumento de temperatura. También se utilizan para aislar estructuras existentes. En la figura 2.8 se muestran los diferentes tipos de juntas de expansión.

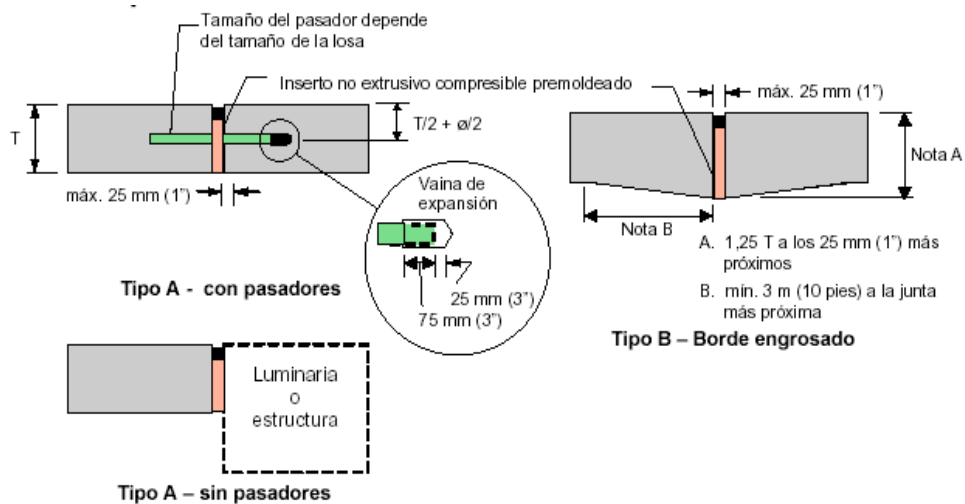


Figura 2.8 Tipos de juntas de expansión*

2.3.5 Sellos

La función principal de un sellador de juntas es minimizar la infiltración de agua a la estructura del pavimento y evitar la intrusión de materiales incompresibles dentro de las juntas que pueden causar la rotura de éstas (descascamientos).

En la selección del sello se debe considerar su vida útil esperada, el tipo de sello, tipo de junta, datos climáticos y el costo de control de tránsito en cada aplicación del sello, en todo el período económico de análisis. El tipo de junta es muy influyente en la selección del material de sello. Las juntas longitudinales

*Tomado del artículo "Design and construction of joint for concrete highways", publicado por la ACPA.

entre pistas o en la unión berma-losa no generan las mismas tensiones sobre el sello que se podría optimizar enormemente el costo del proyecto considerando esto en la selección del sello.

Todo material de sellos de juntas de pavimentos de concreto, deben cumplir con las siguientes características:

- Impermeabilidad
- Deformabilidad
- Resiliencia
- Adherencia
- Resistencia
- Estable
- Durable

Finalmente, el sellado se hará antes de la entrega al tránsito y previa limpieza de la junta, con la finalidad de asegurar un servicio a largo plazo del sellador. Los siguientes puntos son esenciales para las tareas de sellado:

- Inmediatamente antes de sellar, se deben limpiar las juntas en forma integral para librarlas de todo resto de lechada de cemento, compuesto de curado y demás materiales extraños.
- Para limpiar la junta, se puede usar arenado, cepillo de alambre, chorro de agua o alguna combinación de estas herramientas. Las caras de la junta se pueden imprimir inmediatamente después de la limpieza.
- Es necesario usar el soplado con aire como paso final de la limpieza.
- Cabe mencionar que la limpieza solo se hará sobre la cara donde se adherirá el sellador.

2.3.5.1 Sellos líquidos.

La performance a largo plazo de este tipo de sello, depende de su capacidad de

adhesión con la cara de la junta. Los sellos líquidos pueden ser de asfalto, caucho colocado en caliente, compuesto elastoméricos, siliconas y polímeros. Los materiales son colocados en las juntas en forma líquida, permitiéndoseles fraguar.

Cuando se instalan los sellos líquidos es necesario el uso de un cordón o varilla de respaldo, la cual no debe adherirse ni al concreto ni al sellador ya que si esto sucede se induce tensión en el mismo. También ayuda a definir el factor de forma y a optimizar la

cantidad de sello a usar. El diámetro del cordón debe ser 25 % más grande que el ancho del reservorio para asegurar un ajuste hermético.

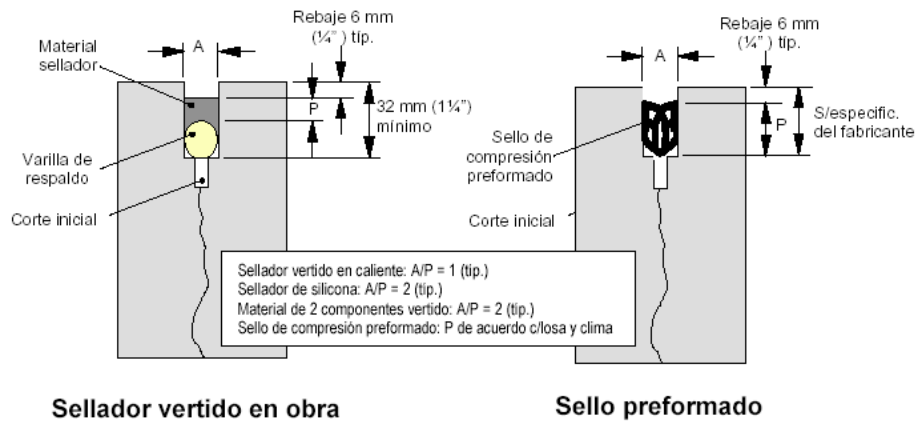
El factor de forma (relación ancho/profundidad) del sellador es una consideración muy importante a tener en cuenta, ya que si éste no es el adecuado, se pueden generar esfuerzos excesivos dentro del sello que acortan la vida útil de éste. Un sellador con un factor de forma inferior a uno desarrolla menos esfuerzos que un sellador con un factor de forma mayor a uno.

2.3.5.2 Sellos elastomericos preformados

La performance a largo plazo de este tipo de sello, depende de su capacidad de recuperación a la compresión. Son sellos de neopreno extruido que tienen redes internas que ejercen una fuerza hacia fuera contra las caras de la junta. A diferencia de los sellos líquidos que experimentan esfuerzos de compresión y tensión, los sellos preformados solo se diseñan para esfuerzos de tensión.

La profundidad y ancho del reservorio dependen de la cantidad de movimiento esperado en la junta. Como regla general, la profundidad del reservorio debe exceder la profundidad del sello preformado.

Los reservorios de sellador por compresión están conformados para proporcionar un promedio de compresión del sellador de un 25 % en todo momento. En la figura 2.9 se observan los diferentes tipos de selladores.



*Figura 2.9 Tipos de selladores**

2.4 Materiales necesarios para la elaboración de una losa de pavimento de concreto hidráulico.

El concreto está conformado por una mezcla homogénea de cemento con o sin adiciones, agua, agregados fino y grueso y aditivos, cuando estos últimos se requieran, materiales que deberán cumplir los requisitos básicos.

Las propiedades de los agregados son fundamentales para el estudio del hormigón; ya que estos forman del 70% al 80% de la dosificación en peso por lo que es necesario obtener varias de las características generales de los agregados para poder combinarlos adecuadamente, pudiendo mencionar las físicas, que son aquellas que no afectan la estructura y composición de los materiales.

2.4.1 Cemento

El cemento es uno de los principales productos utilizados en la construcción, tanto para obras pequeñas como aceras, bordillos, canales, viviendas unifamiliares, etc. o para obras de gran envergadura tales como edificios, presas, puentes, pavimentos, etc.

Existen varios tipos de cementos que se fabrican en la actualidad por los

diferentes proveedores, donde el mas cemento utilizado, de marca aprobada oficialmente, como aglomerante para la preparación del hormigón es el cemento portland. El cemento con el paso de los años ha ido evolucionando, pero en sí es el producto resultante de la mezcla de materiales inorgánicos y minerales, como arcillas, calizas y materiales minerales que se los calcina para formar el clinker, el mismo que al aumentarle yeso y otros elementos forman lo que conocemos como cemento, en nuestro país se almacena y distribuye en sacos de 50 Kg y al granel.

A pesar de que el proceso de fabricación del cemento es muy nocivo y en sí, es causante de la contaminación del medio ambiente, cabe recalcar que es casi imposible para la sociedad en general dejar de utilizar este material, es por eso que a lo largo de la última década en el país se han establecido nuevas reglas e implementado nuevas tecnologías para poder reducir estos procesos de contaminación, con lo que se ha logrado mejorar la calidad y las propiedades de este conglomerante y se han implementado una variedad de posibilidades en productos para el constructor, de tal manera que le permitan enfrentar sus diversos tipos de requerimientos y subsanar las necesidades al momento de la construcción.

La elaboración de los diferentes cementos que existen en el país cumplen con las normas ASTM C 1157, las cuales garantizan su calidad, en el presente estudio se utilizara Cemento Hidráulico Portland.

2.4.2 Agua.

El agua que va a emplearse para la mezcla o para el curado del concreto hidráulico deberá ser limpia y libre de aceites, ácidos, azúcar, materia orgánica y cualquier otra sustancia perjudicial al pavimento terminado. En general, se considera adecuada el agua potable y ella se podrá emplear sin necesidad de realizar ensayos de calificación.

*Tomado del artículo "Design and construction of joint for concrete highways", publicado por la ACPA.

2.4.3 Materiales pétreos.

2.4.3.1 Agregado fino

Se considera como tal, a la fracción que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4). Provenirá de arenas naturales o de la trituración de rocas, gravas, escorias siderúrgicas u otro producto que resulte adecuado, de acuerdo con los documentos del proyecto.

El porcentaje de arena de trituración no podrá constituir más de treinta por ciento (30%) de la masa del agregado fino.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA
Normal	Alterno	
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	No. 4	95 – 100
2.36 mm	No. 8	80 – 100
1.18 mm	No. 16	50 – 85
600 μ m	No. 30	25 – 60
300 μ m	No. 50	10 – 30
150 μ m	No. 100	2 – 10

TABLA 2.1. Granulometría para el agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico

2.4.3.2 Agregado grueso

Se considera como tal, la porción del agregado retenida en el tamiz de 4.75 mm (No.4). Dicho agregado deberá proceder fundamentalmente de la trituración de roca o de grava o por una combinación de ambas; sus fragmentos deberán ser limpios, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, alargadas, blandas o desintegrables. Estará exento de polvo, tierra, terrones de arcilla u otras sustancias objetables que puedan afectar adversamente la calidad de la mezcla. No se permitirá la utilización de agregado grueso proveniente de escorias de alto horno.

Su gradación se deberá ajustar a alguna de las señaladas en la Tabla 2.2.

TAMIZ		PORCENTAJE QUE PASA				
NORMA L (mm)	ALTERN O	AG1		AG2		AG3
		2" – 1"	1" – No. 4	1½"- ¾"	¾" – No. 4	1" – No. 4
63.0	2 ½ "	100	-	-	-	-
50.0	2"	90 – 100	-	100	-	-
37.5	1 ½ "	35 – 70	100	90 – 100	-	100
25.0	1"	0 – 15	95 – 100	20 – 55	100	95 – 100
19.0	¾"	-	-	0 – 15	90 – 100	-
12.5	½"	0 – 5	25 – 60	-	-	25 – 60
9.5	3/8"	-	-	0 – 5	20 – 55	-
4.75	No. 4	-	0 – 10	-	0 – 10	0 – 10
2.36	No. 8	-	0 – 5	-	0 – 5	0 – 5

TABLA 2.2. Granulometrías para el agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico

2.4.4 Aditivos

El uso de estos es para modificar las propiedades del concreto, con el fin de que sea más adecuado para las condiciones particulares del pavimento por construir. Su empleo se deberá definir por medio de ensayos efectuados con antelación a la obra, con las dosificaciones que garanticen el efecto deseado, sin que se perturben las propiedades restantes de la mezcla, ni representen peligro para la armadura que pueda tener el pavimento.

Los aditivos por usar pueden ser los siguientes:

- Incluidores de aire, los cuales deberán cumplir los requerimientos de la especificación ASTM C 260. El agente incluidor de aire deberá ser compatible con cualquier aditivo reductor de agua que se utilice.

- Aditivos químicos, que pueden ser reductores de agua, acelerantes de fraguado y retardantes de fraguado, los cuales deberán cumplir los requerimientos de la especificación de norma, incluyendo el ensayo de resistencia a la flexión. Los aditivos reductores de agua se deberán incorporar en la mezcla separadamente de los

inclusores de aire, de conformidad con las instrucciones del fabricante. La utilización de acelerantes y retardantes se debe evitar en la medida de lo posible; se podrán utilizar únicamente en casos especiales, previa evaluación por parte del Constructor, que permita definir las condiciones de empleo de los mismos. El documento con toda la sustentación respectiva, incluyendo los certificados de calidad de los productos propuestos, deberá ser presentado al Interventor para su evaluación y eventual aprobación, sin la cual no se permitirá su uso en el proyecto.

2.4.5 Productos de curado.

El curado del concreto se puede llevar a cabo por medio de:

- Humedad
- Productos químicos: Compuestos líquidos que forman una película sobre la superficie del concreto
- Láminas para cubrir el concreto Si el curado se realiza mediante humedad. El material de cobertura podrá ser tela de fique o algodón, arena u otro producto de alta retención de humedad. En el caso de los productos químicos, se empleará un producto de reconocida calidad que, aplicado mediante aspersion sobre la superficie del pavimento, genere una película que garantice el correcto curado de éste. Deberá ser de un color claro para reflejar la luz y deberá permitir la verificación de la homogeneidad del vaciado de la mezcla. La efectividad de los productos de curado se debe demostrar mediante experiencias previas exitosas o ensayos al inicio de la colocación del concreto.

2.5 Factores de diseño.

El diseño del pavimento rígido involucra el análisis de diversos factores:

- Tráfico.
- Drenaje.

- Clima.
- Características de los suelos.
- Capacidad de transferencia de carga.
- Nivel de serviciabilidad deseado.
- Grado de confiabilidad.

Todos estos factores son necesarios para predecir un comportamiento confiable de la estructura del pavimento y evitar que el daño del pavimento alcance el nivel de colapso durante su vida en servicio.

La ecuación fundamental AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos es: "

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D + 1) - \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{\frac{1.624 \cdot 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_t) \log \left\{ \frac{S_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{k}\right)^{0.25}} \right]} \right\} \quad \text{ECU. (2.1)}$$

Donde:

- W_{18} = Número de cargas de 18 kips (80 kN) previstas.
- Z_R = Es el valor de Z (área bajo la curva de distribución) correspondiente a la curva estandarizada, para una confiabilidad.
- S_0 = Desvío estándar de todas las variables.
- D = Espesor de la losa del pavimento en pulg.
- ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.
- P_t = Serviciabilidad final.
- S'_c = Módulo de rotura del concreto en psi.
- J = Coeficiente de transferencia de carga.

* Tomado del artículo "Design and construction of joint for concrete highways", publicado por la ACPA.
 ** Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993".

- Cd = Coeficiente de drenaje.
- EC = Módulo de elasticidad del concreto, en psi.
- K = Módulo de reacción de la sub-rasante (coeficiente de balastro), en pci (psi/pulg).

Para una mejor descripción de las variables, éstas se han clasificado de la siguiente manera:

- **VARIABLES DE DISEÑO.** Esta categoría se refiere al grupo de criterios que debe ser considerado para el procedimiento de diseño.
- **CRITERIO DE COMPORTAMIENTO.** Representa el grupo de condiciones de fronteras especificado por el usuario, dentro del que una alternativa de diseño deberá comportarse.
- **PROPIEDADES DE LOS MATERIALES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL.** Esta categoría cubre todas las propiedades de los materiales del pavimento y del suelo de fundación, requeridas para el diseño estructural.
- **CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES.** Se refiere a ciertas características físicas de la estructura del pavimento, que tienen efecto sobre su comportamiento.

2.5.1 Tránsito

En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que éstos resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes que producen diferentes tensiones y deformaciones en el pavimento, lo cual origina distintas fallas en éste. Para tener en cuenta esta diferencia, el tránsito se transforma a un número de cargas por eje simple equivalente de 18 kips (80 kN) ó ESAL (Equivalent Single Axle Load), de tal manera que el efecto dañino de cualquier eje pueda ser representado por un número de cargas por eje simple.

La información de tráfico requerida por la ecuación de diseño utilizado en este método son: cargas por eje, configuración de ejes y número de aplicaciones.

Para la estimación de los ejes simples equivalentes (ESALs), se debe tener en cuenta los siguientes conceptos:

- **Factor equivalente de carga (LEF, por sus siglas en ingles).**

La conversión se hace a través de los factores equivalentes de carga (Fec), que es el número de aplicaciones ESALs aportadas por un eje determinado. Así, el Fce es un valor numérico que expresa la relación entre la pérdida de serviciabilidad causada por la carga de un eje estándar de 18 Kips y la carga producida por otro tipo de eje.

$$\text{LEF} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de ESALs de } 80\text{kN que produce una pérdida de serviciabilidad}}{\text{N}^{\circ} \text{ de ejes*kN que produce la misma pérdida de serviciabilidad}} \quad \text{ECU. (2.2)}$$

Por ejemplo, la aplicación de un eje simple de 12 kips causa un daño aproximadamente igual a 0.23 aplicaciones de una carga por eje simple de 18 kips, por lo tanto se necesitan cuatro aplicaciones de un eje simple de 12 kips para provocar el mismo daño (o reducción de la serviciabilidad), que el de una aplicación de un eje simple de 18 kips.

- **Factor camión (TF, por sus siglas en ingles)**

El factor camión (FC) da una manera de expresar los niveles equivalentes de daño entre ejes, pero para el cálculo de ESALs es conveniente expresar el daño en términos del deterioro producido por un vehículo en particular, es decir los daños producidos por cada eje de un vehículo son sumados para dar el daño producido por ese vehículo. Así nace el concepto de factor camión que es definido como el número de ESALs por vehículo.

El factor camión, puede ser computado para cada clasificación general de camiones o para todos los vehículos comerciales como un promedio para una configuración dada de tránsito, pero es más exacto considerar factores camión

para cada clasificación general de camiones.

2.5.2 Confiabilidad

La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de dicho período. Cabe resaltar, que cuando hablamos del comportamiento del pavimento nos referimos a la capacidad estructural y funcional de éste, es decir, a la capacidad de soportar las cargas impuestas por el tránsito, y asimismo de brindar seguridad y confort al usuario durante el período para el cual fue diseñado. Por lo tanto, la confiabilidad esta asociada a la aparición de fallas en el pavimento.

La confiabilidad (R) de un pavimento puede definirse en términos de ESALs como:

$$R(\%) = 100(N_t > N_T) \quad \text{ECU. (2.3)}$$

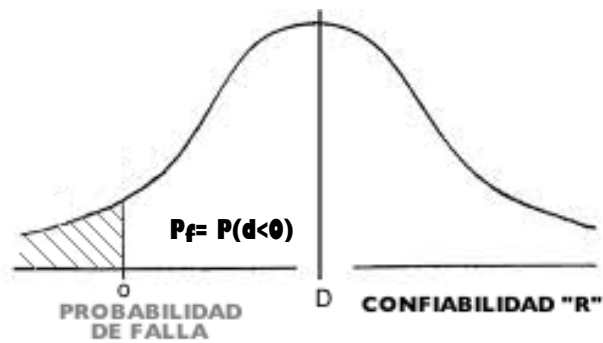
Donde :

N_t = Número de ESALs de 80 kN que llevan al pavimento a su serviciabilidad final

N_T = Número de ESALs de 80 kN previstos que actuarán sobre el pavimento en su período de diseño (vida útil).

Como N_t y N_T tienen una distribución normal, la diferencia entre ambas, también tendrá una distribución normal, como se puede apreciar en la figura 1.10. Por lo tanto la probabilidad de falla es:

*Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993".



*FIGURA 1.10 Ilustración de los conceptos de probabilidad de falla y de confiabilidad**

Es fácil deducir que si el número de ESALs previstos es menor que el número de ESALs reales, la vida útil del pavimento se acortará. Por lo tanto, la variabilidad en el diseño, en la construcción afectan en gran medida la bondad de un diseño, por ejemplo:

- La variación en las propiedades de los materiales a lo largo del pavimento,
- produce como resultado una variación en el desarrollo de fallas y rugosidades en ese pavimento. Las fallas localizadas en zonas débiles, dan como resultado una disminución en la vida útil del pavimento.
- La variación de la ubicación de los pasadores en las juntas y profundidad de colocación de la armadura da como resultado una variación en el desarrollo de fallas y rugosidades.
- La variación entre los datos de diseño del pavimento y los reales puede significar un aumento o disminución de la vida útil del mismo.

2.5.3 Criterios de comportamiento

2.5.3.1 Serviciabilidad.

La serviciabilidad se usa como una medida del comportamiento del pavimento, la misma que se relaciona con la seguridad y comodidad que puede brindar al usuario (comportamiento funcional), cuando éste circula por la vialidad.

También se relaciona con las características físicas que puede presentar el pavimento como grietas, fallas, peladuras, etc, que podrían afectar la capacidad de soporte de la estructura (comportamiento estructural).

El concepto de serviciabilidad está basado en cinco aspectos fundamentales resumidos como sigue:

- Las carreteras están hechas para el confort y conveniencia del público usuario.
- El confort, o calidad de la transitabilidad, es materia de una respuesta subjetiva de la opinión del usuario.
- La serviciabilidad puede ser expresada por medio de la calificación hecha por los usuarios de la carretera y se denomina la calificación de la serviciabilidad.
- Existen características físicas de un pavimento que pueden ser medidas objetivamente y que pueden relacionarse a las evaluaciones subjetivas. Este procedimiento produce un índice de serviciabilidad objetivo.
- El comportamiento puede representarse por la historia de la serviciabilidad del pavimento.

Cuando el conductor circula por primera vez o en repetidas ocasiones sobre una vialidad, experimenta la sensación de seguridad o inseguridad dependiendo de lo que ve y del grado de dificultad para controlar el vehículo. El principal factor asociado a la seguridad y comodidad del usuario es la calidad de rodamiento que depende de la regularidad o rugosidad superficial del pavimento. La valoración de este parámetro define el concepto de Índice de Serviciabilidad Presente (PSI, por sus siglas en inglés). El PSI califica a la superficie del pavimento de acuerdo a una escala de valores de 0 a 5. Claro está, que si el usuario observa agrietamientos o deterioros sobre la superficie del camino aún sin apreciar deformaciones, la clasificación decrece.

El diseño estructural basado en la serviciabilidad, considera necesario determinar el índice de serviciabilidad inicial (P_0) y el índice de serviciabilidad final (P_t), para la vida útil o de diseño del pavimento.

A) Índice de serviciabilidad inicial (P_0)

El índice de serviciabilidad inicial (P_0) se establece como la condición original del pavimento inmediatamente después de su construcción o rehabilitación. AASHTO estableció para pavimentos rígidos un valor inicial deseable de 4.5, si es que no se tiene información disponible para el diseño.

B) Índice de serviciabilidad final (P_t)

El índice de serviciabilidad final (P_t), ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario. Dependiendo de la importancia de la vialidad, pueden considerarse los valores P_t indicados en la tabla 2.1

PT	CLASIFICACIÓN
3.00	Autopistas
2.50	Colectores
2.25	Calles comerciales e industriales
2.00	Calles residenciales y estacionamientos

*TABLA 2.3 Índice de serviciabilidad final**

La pérdida de serviciabilidad se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y terminal.

$$\Delta PSI = P_0 - P_t \quad \text{ECU. (2.4)}$$

Los factores que influyen mayormente en la pérdida de serviciabilidad de un pavimento son: tráfico, medio ambiente y edad del pavimento. Los efectos que

causan éstos factores en el comportamiento del pavimento han sido considerados en este método. El factor edad (tiempo) no está claramente definido. Sin embargo, en la mayoría de los casos es un factor negativo neto que contribuye a la reducción de la serviciabilidad. El efecto del medio ambiente considera situaciones donde se encuentran arcillas expansivas o levantamientos por helada. Así, el cambio total en el PSI en cualquier momento puede ser obtenido sumando los efectos dañinos del tráfico, arcillas expansivas y/o levantamientos por helada, como se muestra en la figura 1.12.

2.5.4 Propiedades de los materiales

2.5.4.1 Módulo de reacción de la sub-rasante

Este factor nos da idea de cuánto se asienta la sub-rasante cuando se le aplica un esfuerzo de compresión. Numéricamente, es igual a la carga en libras por pulgada cuadrada sobre un área de carga, dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados como libras por pulgada cuadrada por pulgada (pci).

Puesto que la prueba de carga sobre placa, requiere tiempo y es costosa, el valor de k es estimado generalmente por correlación con otros ensayos simples, tal como la razón de soporte california (CBR) o las pruebas de valores R. El resultado es válido porque no se requiere la determinación exacta del valor k; las variaciones normales para un valor estimado no afectarán apreciablemente los requerimientos de espesores del pavimento.

Las relaciones de la figura 1.13 son satisfactorias para propósitos de diseño.

*Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993".

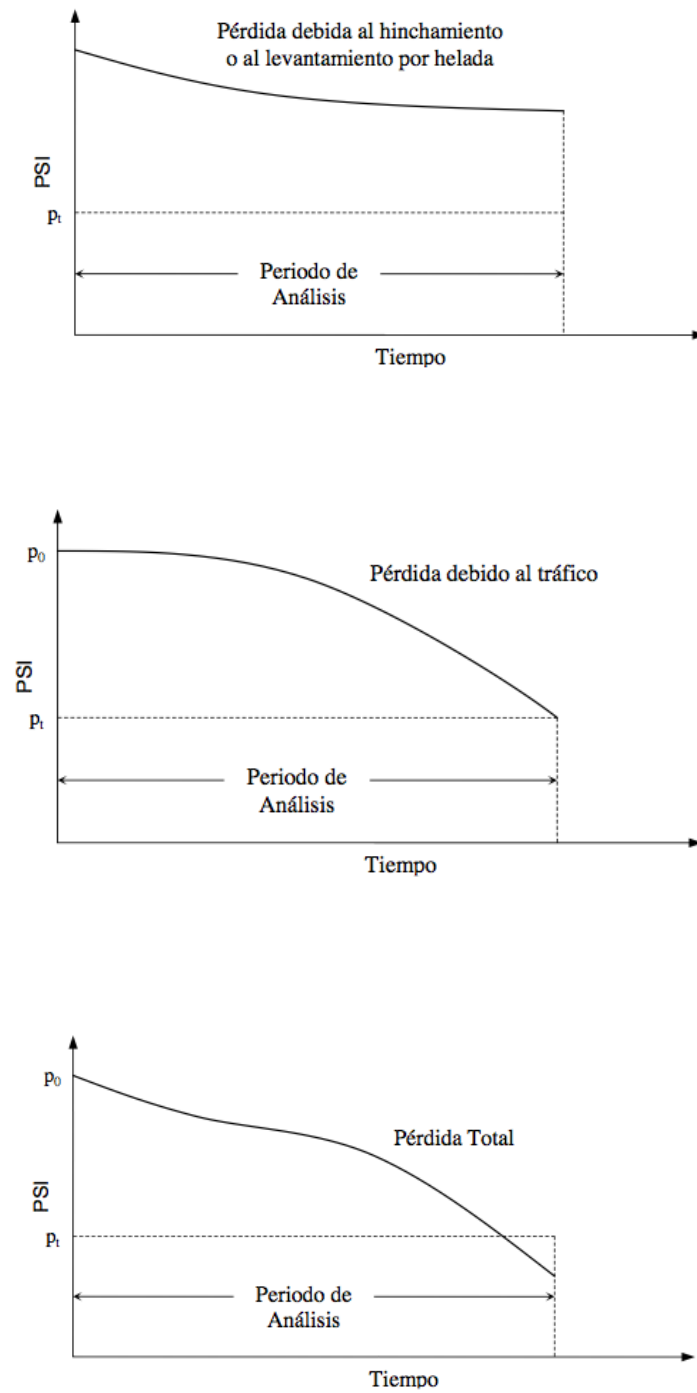


FIGURA 1.12 Tendencia en el comportamiento de los pavimentos*

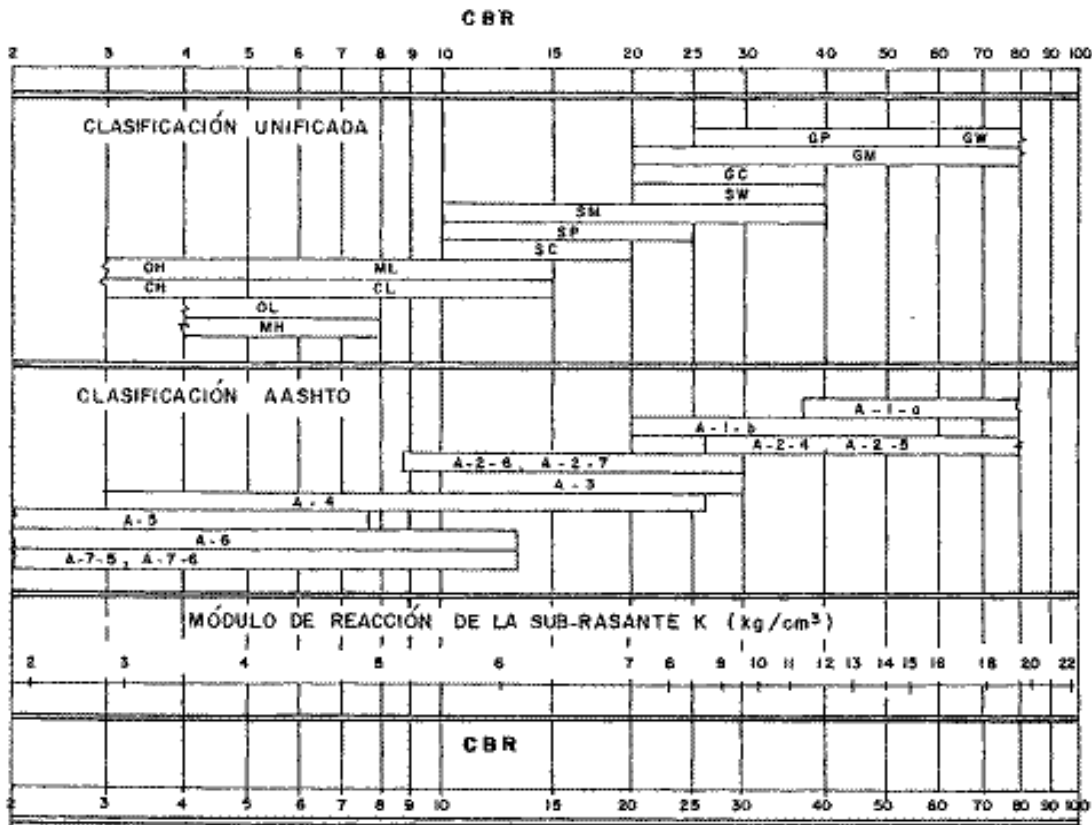


FIGURA 1.13 Relación aproximada entre los valores k y otras propiedades del suelo*

2.5.4.2 Módulo de rotura del concreto

Es un parámetro muy importante como variable de entrada para el diseño de pavimentos rígidos, ya que va a controlar el agrietamiento por fatiga del pavimento, originado por las cargas repetitivas de camiones. Se le conoce también como resistencia a la tracción del concreto por flexión.

El módulo de rotura requerido por el procedimiento de diseño es el valor medio determinado después de 28 días utilizando el ensayo de carga en los tercios. De esta manera, se obtiene en el tercio medio una zona sometida a un momento flector constante igual a $PL/3$ y la rotura se producirá en cualquier punto de este tercio medio con la única condición que exista allí una debilidad.

*Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos, 1993".

Este ensayo es recomendable frente al ensayo de carga en el punto medio, en el cuál la rotura se producirá indefectiblemente en dicho punto (punto de aplicación de la carga) donde el momento flector es máximo.

2.5.4.3 Módulo de elasticidad del concreto

Es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del concreto. En los pavimentos de concreto armado continuo, el módulo de elasticidad junto con el coeficiente de expansión térmica y el de contracción del concreto, son los que rigen el estado de tensiones en la armadura. Para concreto de peso normal, el Instituto del Concreto Americano sugirió:

Donde:

$$E_c = 57000f_c^{0.5} \quad \text{ECU. (2.5)}$$

Donde E_c y f_c' están dados en psi

2.5.5 Características estructurales.

2.5.5.1 Transferencia de carga.

Las cargas de tránsito deben ser transmitidas de una manera eficiente de una losa a la siguiente para minimizar las deflexiones en las juntas. Las deflexiones excesivas producen bombeo de la sub-base y posteriormente rotura de la losa de concreto.

El mecanismo de transferencia de carga en la junta transversal entre losa y losa se lleva a efecto de las siguientes maneras:

- Junta con dispositivos de transferencia de carga (pasadores de varilla lisa de acero) con o sin malla de refuerzo por temperatura.

- Losa vaciada monolíticamente con refuerzo continuo, (acero de refuerzo de varilla corrugada armada en ambas direcciones) no se establece virtualmente la junta transversal, tomándose en cuenta para el cálculo del acero estructural la remota aparición de grietas transversales.
- Junta transversal provocada por aserrado cuya transferencia de carga se lleva a efecto a través de la trabazón entre los agregados.

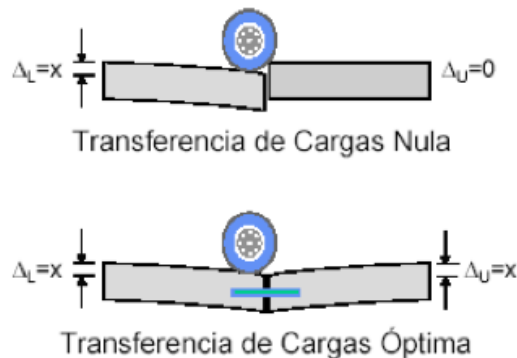
La transferencia de cargas se puede definir usando deflexiones o tensiones en la junta. La transferencia de cargas por deformaciones es:

$$LT_{\delta} = \frac{(\delta_{NO\ CARGADA})}{(\delta_{CARGADA})} \quad \text{ECU. (2.6)}$$

Donde:

- LT_{δ} = Transferencia de cargas por deformaciones.
- $\delta_{CARGADA}$ = Deflexión de la losa adyacente no cargada.
- $\delta_{CARGADA}$ = Deflexión de la losa cargada.

En la figura 1.14 se observa que una transferencia de cargas es nula, cuando la losa no cargada no experimenta ninguna deflexión, todo lo contrario sucede cuando hay una transferencia de cargas perfecta donde la deflexión de la losa no cargada es igual a la de la losa cargada.



*FIGURA 1.14 Transferencia de carga**

La capacidad de una estructura de pavimento de concreto para transferir (distribuir) cargas a través de juntas o grietas es tomado en cuenta en el método AASHTO 93 por medio del coeficiente de transferencia de carga J. Los dispositivos de transferencia de carga, trabazón de agregados y la presencia de bermas de concreto tienen efecto sobre éste valor.

La tabla 1.2 establece rangos de los coeficientes de transferencia de carga para diferentes condiciones desarrolladas a partir de la experiencia y del análisis mecánico de esfuerzos. Como se puede apreciar en esta tabla el valor de J se incrementa a medida que aumentan las cargas de tráfico, esto se debe a que la transferencia de carga disminuye con las repeticiones de carga

Soporte lateral	Si	No	Si	No	Si	No	Tipo
ESALs en millones	Con pasadores con o sin refuerzo de temperatura		Con refuerzo continuo		Sin pasadores (fricción entre agregados)		
Hasta 0.3	2.7	3.2	2.8	3.2	-	-	Calles y caminos vecinales
0.3 – 1	2.7	3.2	3.0	3.4	-	-	
1 – 3	2.7	3.2	3.1	3.6	-	-	
3 – 10	2.7	3.2	3.2	3.8	2.5	2.9	Caminos principales y autopistas
10 – 30	2.7	3.2	3.4	4.1	2.6	3.0	
más de 30	2.7	3.2	3.6	4.3	2.6	3.1	

*TABLA 2.4 Coeficiente de transferencia de carga (J) **

El uso de bermas de concreto unidas o losas ensanchadas reducen las tensiones y deformaciones en una losa. Es por eso que se usan valores menores de J. La razón para tomar J menores en pavimentos con bermas de concreto unida es porque se supone que los vehículos no transitarán por la misma. Es necesario tener en cuenta que la zona crítica de la losa es la esquina y con esta premisa las cargas se alejan de ella, permitiendo una reducción de espesores.

Guía AASHTO “Diseño de estructuras de pavimentos, 1993”.

CAPÍTULO III REFUERZO EN PAVIMENTOS

3.1 Introducción

En este capítulo se desarrollarán las principales consideraciones que hay que tener en cuenta al momento de asentar una sobre capa de refuerzo, las cuales son: reparaciones previas al refuerzo (estabilización de losas, reparación en todo el espesor, reparación de juntas y grietas, etc.)

Todas estas tareas son muy importantes en el emplazamiento de sobre capas de refuerzo porque de ellas va a depender a condición de refuerzo a colocar. Por lo tanto, el proyectista debe considerar el costo de cada uno de estos ítems, su factibilidad y en base al mismo presentar la condición de refuerzo más adecuado. Asimismo, se buscará colocar el refuerzo que requiera reparaciones previas más baratas y sencillas, de tal manera que se adapte bien al grado de deterioro existente.

Existe una gran experiencia con este tipo de refuerzos, con realizaciones que datan desde comienzos del siglo XX. Aunque los más empleados son los refuerzos con pavimentos de hormigón en masa y los armados continuos sin juntas, se han utilizado todas las tipologías disponibles de pavimentos de hormigón: en masa, armados con juntas, con armadura continua, reforzados con fibras y pretensados.

Una opción a considerar en el refuerzo de cualquier tipo de firme, sea rígido o flexible, es la extensión sobre el mismo de un pavimento de hormigón, con lo que se consigue un incremento muy notable de la capacidad de soporte. La principal ventaja de los refuerzos es que, correctamente ejecutados y construidos, permiten prolongar la vida del firme existente durante más de 30 años, con unas necesidades de mantenimiento muy reducidas.

Por otra parte, aportan las ventajas de los pavimentos de hormigón en cuanto a sostenibilidad, seguridad para el usuario, reducción de consumo de combustible, menores costes de iluminación y disminución de la temperatura ambiente entre otros.

3.2 Definición

Atendiendo al grado de adherencia con el firme existente, puede establecerse una clasificación de los refuerzos en:

- **REFUERZOS NO ADHERIDOS:** Es cuando se procura que no haya ninguna unión entre las dos capas (refuerzo y existente), mediante la interposición de una capa de separación.
- **REFUERZOS ADHERIDOS:** Cuando, al contrario que en el caso anterior, se procura obtener una unión entre las dos capas lo más perfecta posible, de forma que actúen monolíticamente.
- **REFUERZOS PARCIALMENTE ADHERIDOS:** Se trata de un caso intermedio entre los dos anteriores, en que el refuerzo se extiende directamente sobre el firme antiguo, sin refuerzos no adheridos preocuparse ni de asegurar la unión entre ambos, ni por el contrario, de procurar romper dicha unión.

En la rehabilitación de pavimentos de hormigón, los más utilizados son los dos primeros. Los refuerzos parcialmente adheridos pueden presentar problemas de reflexión de las juntas y grietas del firme existente.

Como norma general, tanto los refuerzos no adheridos como los parcialmente adheridos se utilizan para rehabilitar firmes que tengan deterioros importantes (siempre que éstos no estén originados por problemas en la explanada). En estos casos, la misión fundamental del firme existente es la de constituir una base de gran calidad para el refuerzo, permitiendo que la vida útil del refuerzo pueda ser incluso superior a la de un pavimento de nueva construcción con el mismo espesor.

Por su parte, los refuerzos adheridos están muy indicados para firmes en buen estado, en los que se quiera aumentar su capacidad estructural (por ejemplo, por haberse producido un incremento no previsto del tráfico) o bien mejorar sus características superficiales.

Otra de las ventajas de los refuerzos con hormigón es que las reparaciones previas a realizar en el firme existente suelen ser muy reducidas. No obstante, la ejecución de un refuerzo adherido lleva consigo una serie de operaciones de preparación de la superficie del firme existente para garantizar su unión con la nueva capa. En lo que se refiere a los refuerzos no adheridos, ya se ha indicado que requieren la interposición de una capa de separación.

Las técnicas de construcción no presentan diferencias notables con las que se emplean en pavimentos de nueva construcción. Como las obras de refuerzo no pueden permanecer cerradas al tráfico durante un período prolongado, es frecuente el empleo de hormigones de desarrollo rápido de resistencias (también conocidos como fast-track).

3.3 Conceptos generales

Una sobre capa de refuerzo se define como un tipo de rehabilitación estructural que permitirá al pavimento antiguo recuperar la capacidad estructural perdida por los años de servicio, o en todo caso mejorar la capacidad inicial de diseño.

En la figura 3.1 se observa que conforme aumenta el número de aplicaciones de carga sobre el pavimento, la serviciabilidad inicial (P1) de éste va disminuyendo hasta alcanzar un punto de serviciabilidad mínimo (P2), en el cual es necesario colocar un refuerzo, de tal manera que el número de cargas actuales (NP) no superen al número de cargas que producen la rotura del pavimento (N1.5). Así mismo, se produce una reducción de la capacidad estructural del mismo, ya que al momento de colocar el refuerzo ésta ha pasado de SCo (capacidad estructural original) a SCef (capacidad estructural efectiva). Supongamos que para el tránsito futuro esperado (Nf), se requiera una capacidad estructural SCf, la diferencia entre SCf y SCef debe ser dada por el refuerzo (SCol). Este criterio de diseñar el refuerzo se llama aproximación por deficiencia estructural.

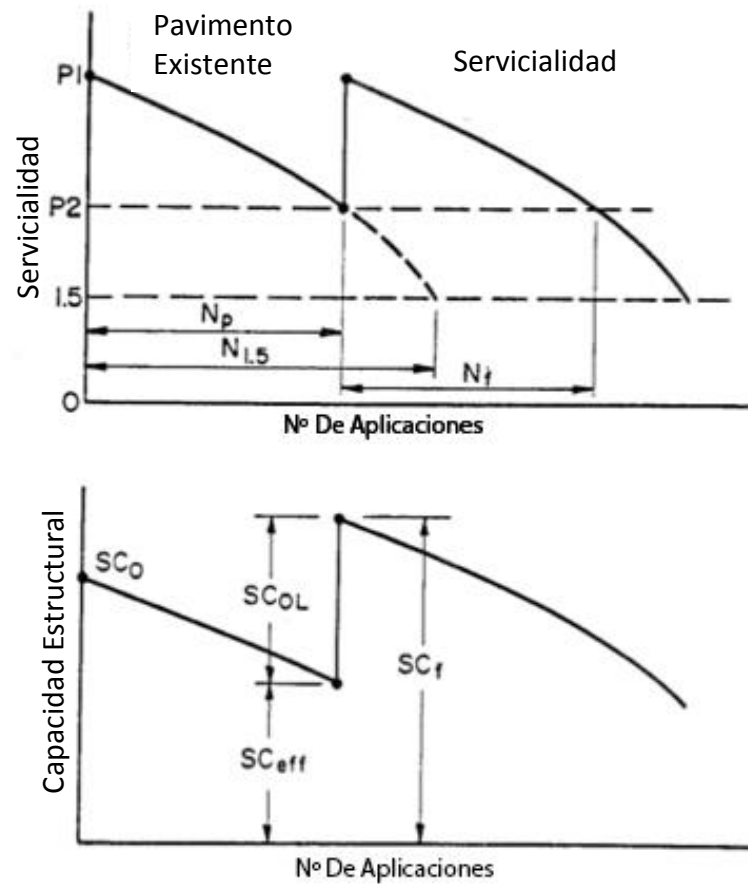


Figura 3.1 Variación de la capacidad estructural de un pavimento en el tiempo*

3.4 Factores básicos para el estudio de refuerzos

El refuerzo debe ser capaz de brindar al pavimento reforzado resistencia (capacidad para soportar la acción del tráfico) y durabilidad (capacidad para resistir la acción del medio ambiente), durante el período para el cuál ha sido diseñado. Todo esto, en condiciones de vialidad adecuados y con gastos de conservación (mantenimiento) normales para el tipo de carretera que se este rehabilitando.

En la concepción de un refuerzo intervienen fundamentalmente los siguientes factores:

*Tomado de la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), año 1994, No 204

3.4.1. Factores internos

- El estado superficial del pavimento que se pretende reforzar.
- La estructura del pavimento existente, naturaleza y estado de cada una de sus capas componentes.
- La capacidad resistente del pavimento existente, esta puede ser determinada mediante la medida de deflexiones.
- El tipo de material a emplear en el refuerzo.

3.4.2. Factores externos

- Disponibilidad de fondos adecuados para realizar el refuerzo.
- Disponibilidad de materiales y equipos.
- Como se manejará el tránsito de la vía durante la ejecución de las obras de refuerzo y el costo de la demora del usuario.
- Problemas constructivos como: Ruido, contaminación, instalaciones subterráneas, gálibo bajo puentes, espesor de bermas.
- El estado del sistema de drenaje de la carretera antes del refuerzo y posibilidades de mejora del mismo.
- Cargas de tránsito futuras.
- Clima local.

3.7.1. Estudios preliminares

Antes de adoptar un espesor de refuerzo, es necesario dividir la carretera a reforzar en tramos, ya que el deterioro del pavimento no es igual a lo largo de la vía a rehabilitar. Este cambio puede ser en el aspecto superficial, aspecto estructural (resistencia de las capas componentes del pavimento) y en las condiciones externas el pavimento (berma, condiciones de drenaje). Esto permitirá identificar zonas con características similares (homogéneas) a las que puede dársele un tratamiento especial. En consecuencia, se puede decir que en este tipo de proyectos es importante realizar una división en secciones de características homogéneas, con la finalidad de diseñar un espesor de sobre capa adecuado para cada caso y no incurrir

en un sobre diseño que traería como consecuencia el encarecimiento del proyecto.

Entre los principales criterios a tener en cuenta para realizar una tramificación se pueden mencionar:

- Variaciones sensibles en las solicitudes de tránsito pesado (causadas, por ejemplo, por la existencia de intersecciones).
- Variaciones en las condiciones climáticas, que pueden influir sensiblemente en la temperatura del pavimento y en el grado de humedad de la subrasante.
- Cambios importantes en el tipo de suelo de la subrasante.
- Cambios importantes en la sección transversal.
- Cambios importantes en el tipo o espesor del pavimento existente o alguna de sus capas.
- Variación en el estado del pavimento.
- Variación de las condiciones de drenaje.

Esta ramificación previa es de gran importancia sobretodo en proyectos de gran longitud y en aquellos en que, por falta de tiempo o de medios, no sea posible efectuar la medida de la deflexión en toda la longitud a reforzar, puesto que permite seleccionar secciones representativas de cada uno de los tramos cuyo comportamiento sea previsiblemente distinto.

3.5 Reparación previas de la superficie del pavimento

Principales consideraciones para el diseño de una sobre capa de refuerzo.- Antes de proceder a la colocación del refuerzo, deberán repararse todos los desperfectos graves, tales como grietas de trabajo (aquellas que experimentan desplazamientos verticales entre sí), losas inestables, asentamientos, punzonamientos de pavimentos de concreto armado continuo y en especial todos los problemas derivados de un mal funcionamiento del sistema de drenaje o de la falta de capacidad de soporte de las capas subyacentes, con el fin de proporcionar al refuerzo una superficie de apoyo estable, uniforme, no erosionable y sin problemas de drenaje.

Todas estas medidas de reparación deberán tenerse en cuenta en el proyecto, sin que sea admisible sustituirlas por el dimensionamiento de un refuerzo de mayor espesor.

Cada técnica está diseñada específicamente para reparar o prevenir la recurrencia de ciertas fallas que puedan afectar el comportamiento de la sobre capa de refuerzo. Aún cuando cada una de las técnicas puede ser empleada individualmente, son típicamente más efectivas cuando se emplea una combinación de varias de ellas.

Entre las principales técnicas de reparación tenemos:

- Estabilización de losas.
- Reparación en todo el espesor.
- Reparación de espesor parcial.
- Colocación de barras de traspaso de carga.
- Colocación de barras en cruz.
- Cepillado de la superficie.
- Reparación de juntas y grietas.
- Instalación de drenes de borde.

Estas técnicas, por sí solas, no necesariamente aumentan la capacidad estructural del pavimento; lo que hacen es incrementar la vida útil de éste. Por el contrario, si el pavimento necesita aumentar su capacidad para soportar más cargas será necesario colocar un refuerzo estructural.

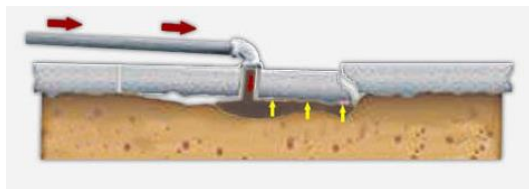
Estabilización de losas

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 en razón 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. La estabilización de losas, es un proceso correctivo que llena los vacíos y restaura el apoyo de la losa sin levantar el pavimento de concreto. Por lo general, la estabilización de la losa va acompañada de otras técnicas como la reparación de espesor completo o parcial y cepillado. Los pasos a seguir en el procedimiento de estabilización de losas son:

- Detección de vacíos en forma precisa.
- Selección de materiales aceptables de estabilización.
- Estimación correcta de la cantidad de material.
- Ejecutar pruebas posteriores.

En la actualidad existen métodos, materiales y equipos disponibles para llevar a cabo el proceso de forma más rápida y eficiente que en el pasado. El proceso consiste en el bombeo de una lechada de cemento a través de agujeros perforados en la losa, como se puede observar en las figuras 3.2 y 3.3 La mezcla de lechada deberá ser capaz de formar una masa dura e insoluble, la cual llenará los vacíos que se encuentran por debajo de la losa.



*figura 3.2 Proceso de inyección de lechada**



*figura 3.3 Losa estabilizada**

*Tomado del artículo "Nuevas técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto", publicado en la página web www.moptt.gov.cl.

Reparación en todo el espesor

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 sobre capa. 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.

En algunos casos se han hecho reparaciones en todo el espesor en concreto asfáltico en lugar de concreto de cemento portland. Según la experiencia AASHTO⁴, esto no ha dado buenos resultados puesto que aparecen manchas en el refuerzo, apertura de juntas, fisuras y rápido deterioro en las inmediaciones del parche de concreto asfáltico, es por esto que no deben hacerse reparaciones con este material previo a la colocación del refuerzo. En el caso de haber parches de concreto asfáltico éstos deberán ser demolidos y reemplazos por concreto de cemento portland.

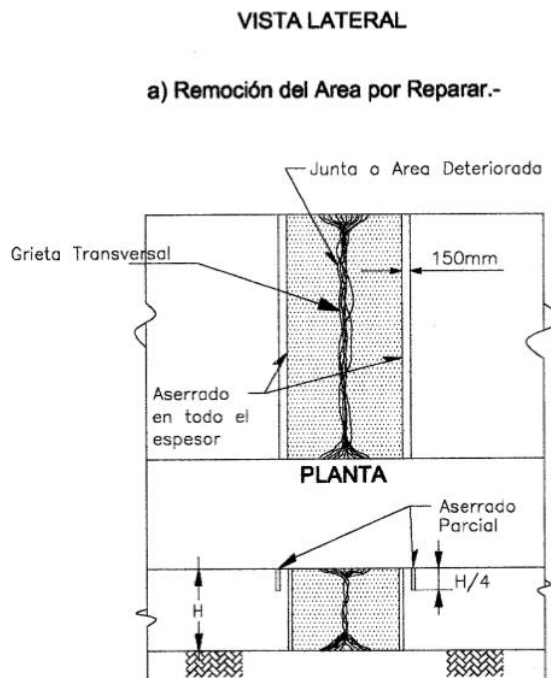
Las reparaciones de espesor completo deben tener una longitud suficiente para que el equipo de perforación de las barras de transferencia de carga (pasadores) trabaje sin dificultades. Ello garantiza que las barras queden suficientemente separadas para evitar concentración de tensiones excesivas, por lo tanto se recomienda extenderlas a todo el ancho de la losa que se está reparando. Además, se aconseja que éstas sean de un largo de 1.80 m como mínimo.

⁴ *Guía AASHTO "Diseño de estructuras de pavimentos 1993"*

La ejecución considera los siguientes pasos:

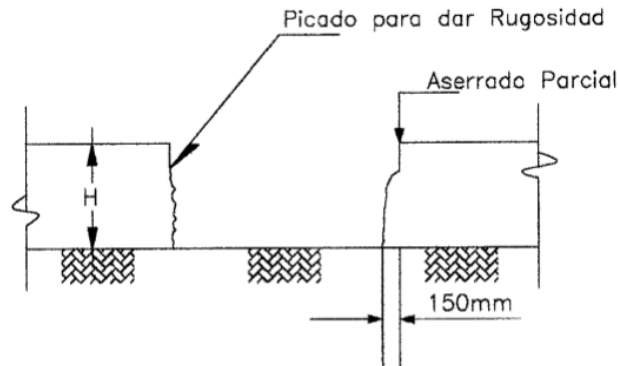
- Corte de espesor completo mediante aserrado alrededor del área dañada.
- Extracción de la losa de concreto en mal estado por medio de pequeñas grúas, con el fin de evitar dañar la subbase o el pavimento adyacente.
- Colocación de las barras de transferencia de carga, perfectamente alineadas.
- En la instalación debe utilizarse un concreto premezclado, que alcance la resistencia adecuada antes de la apertura al tránsito.
- El concreto debe ser vibrado y curado en la misma manera que al construir un pavimento nuevo.

Un curado deficiente puede ser la causa de problemas de durabilidad. Una consideración que hay que tener en cuenta es que si dentro de la zona deteriorada existiera una junta de contracción se procede de la misma forma, pero se debe formar la nueva junta en el mismo lugar que estaba la antigua. El procedimiento de la reparación en todo el espesor se puede apreciar en la figura 3.4.



VISTA LATERAL

b) Preparación de las Caras Aserradas.-



VISTA LATERAL

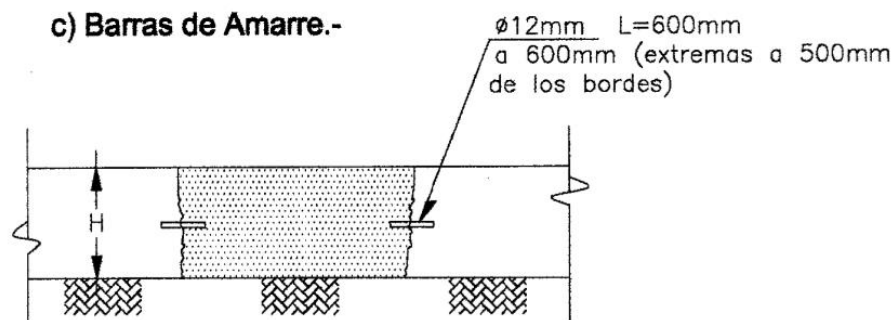


Figura 3.4 Reparación en todo el espesor*

Reparación de espesor parcial

La causa más frecuentes de los descascamientos es el aprisionamiento de materiales incompresibles en la junta abierta cuando el pavimento está frío. Estos incompresibles provocan tensiones al expandirse el pavimento en presencia de mayores temperaturas. Un descascamiento es objeto de una reparación de espesor parcial, si el concreto dañado puede ser removido hasta una profundidad menor a un tercio de la losa. Típicamente los descascamientos mayores de 3 cm de ancho o de 8 cm de largo deben ser parchados ya que crean una superficie muy irregular y aceleran el proceso de deterioro general en el pavimento.

La ejecución considera los siguientes pasos:

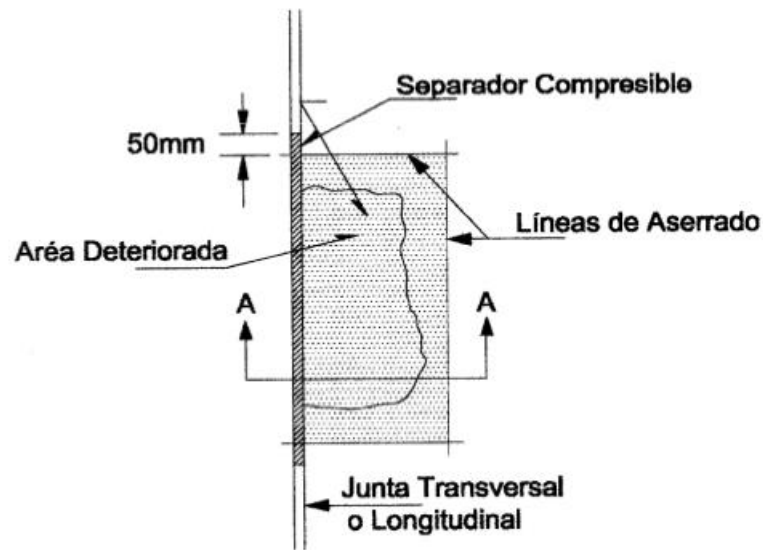
- Aserrado del perímetro de la zona a reparar, con una profundidad de corte apropiada (no puede ser mayor a un tercio del espesor de la losa), prolongando los cortes más allá del encuentro con el otro borde para que en las aristas se obtenga toda la profundidad del corte. Estos sobrecortes deben rellenarse con lechada o con epóxico. Los límites del parche incluyen todo el concreto deteriorado y que siempre esté rodeado de concreto sano.
- Remoción del concreto a reemplazar con martillos neumáticos livianos.
- Limpieza del área preparada mediante barrido a presión.
- Colocación de un formador de juntas flexible (separador compresible).
- 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. La causa más común de fallas de la reparación de espesor parcial es el descascaramiento causado por la falta de un formador de junta flexible (separador compresible). Cuando no se emplea un formador de junta flexible, el parche mismo se convierte en incompresible, la falla se produce en el punto de apoyo y resulta de las fuerzas generadas por la expansión del concreto a temperaturas mayores que aquellas existentes en el momento de la instalación del parche. El procedimiento de la reparación de espesor parcial se puede apreciar en la figura 3.6.



*Figura 3.5 Aplicación de puente de adherencia en reparación**

*Obtenido de la página web www.cedex.es.

PLANTA



SECCION A-A

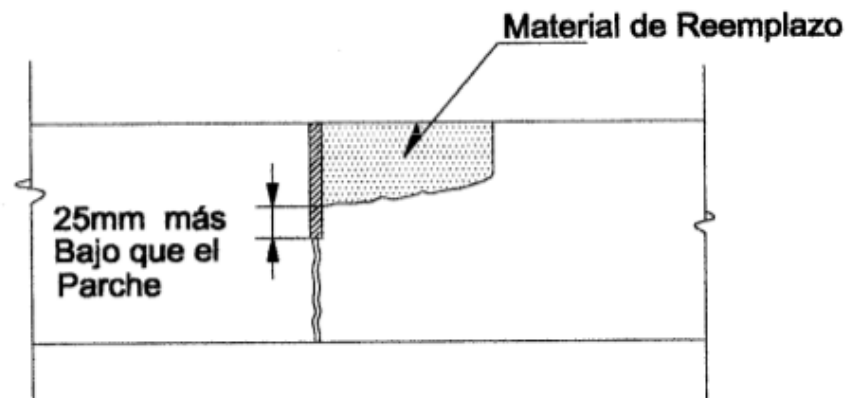


Figura 3.6 Reparación de espesor parcial

Colocación de barras de transferencia de carga

La colocación de pasadores, aumenta la eficiencia de la transferencia de carga en las grietas y juntas transversales en los pavimentos, al enlazar los trozos contiguos de modo tal que se distribuya la carga uniformemente.

*Tomado del artículo "Nuevas técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto", publicado en la página web www.moptt.gov.cl.

Se colocan en juntas o grietas transversales (ver figura 3.7) en las que se haya observado y medido una deficiente transferencia de carga entre la losa de aproximación y alejamiento de una junta, es decir, un movimiento diferencial entre estas losas debido a las cargas de tránsito. El mejoramiento de la transferencia de cargas incrementa la capacidad estructural del pavimento y reduce el potencial de escalonamiento, en razón a la disminución de las tensiones y deflexiones en el pavimento.

Su configuración geométrica, el número de barras a colocar por junta y el tipo de acero a utilizar se determinan principalmente en función a las cargas de tránsito a las que estará sometido el pavimento. Su instalación se efectúa de acuerdo a la siguiente secuencia:

- Corte de ranuras a través de la junta o grieta para almacenar a los pasadores.
- Demolición, remoción del concreto de las ranuras y arenado de las caras internas de la ranura.
- Limpieza de las ranuras mediante hidrolavado.
- Colocación y alineación de las barras de transferencia con su respectivo separador de poliestireno expandido alineado con la grieta o junta.
- Relleno con ranuras con nuevo concreto.



*Figura 3.7 Colocación de pasadores**

*Tomado del artículo "Nuevas técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto", publicado en la página web www.moptt.gov.cl.

Cepillado

Los tipos de textura superficiales que se pueden encontrar en pavimentos de concreto viejos, pueden variar desde una textura pulida a una textura gruesa. Esto influye en su habilidad para la adherencia o unión entre capas.

Una manera de alisar y dar textura al pavimento de concreto es mediante el cepillado superficial. Este proceso tiene por finalidad eliminar las imperfecciones superficiales, mediante el desbaste de los escalonamientos, alabeos y rugosidades otorgándole extrema suavidad, confort y seguridad para el usuario. Se realiza mediante maquinaria especializada con un cabezal de corte en que van montados en paralelo alrededor de 150 discos diamantados, los que le dan una textura acanalada. Este procedimiento no aumenta la capacidad estructural del pavimento. Como resultado del cepillado, más las técnicas anteriores, se genera un importante incremento de la vida útil del pavimento como se ilustra en la figura 3.8.

Esto se debe a que hay una disminución de las cargas dinámicas o de impacto, que son producto del rebote o de los vehículos al rodar por sobre los resaltes y depresiones del pavimento; lo que permite que la estructura soporte un mayor número de sollicitaciones durante el resto de su vida útil, que las que aceptaría si no se hubiera cepillado.

Por otra parte, se logra un mejoramiento del índice de regularidad superficial (IRI), parámetro que refleja el grado de serviciabilidad del pavimento. Además, como se le otorga textura al pavimento, se mejora la capacidad de adherencia de los neumáticos, que sumado al mejoramiento del drenaje del agua superficial, disminuye el hidroplaneo, lo que se traduce en un número menor de accidentes en la ruta.

*Tomado del artículo “Nuevas técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto”, publicado en la página web www.moptt.gov.cl.

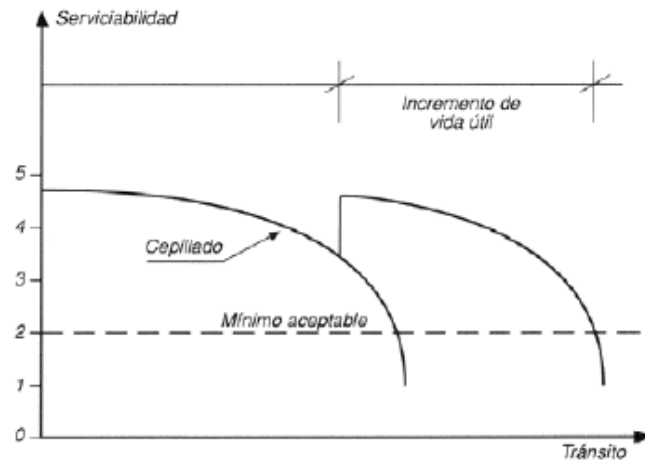


Figura 3.8 Incremento de la vida útil*

Reparación de juntas y grietas

Este tipo de trabajo se aplica a juntas y grietas que no experimenten desplazamientos verticales significativos entre sí, es decir, que no trabajen. Si las juntas o grietas son de trabajo deben repararse a través de la colocación de barras de traspaso de carga o reparando todo el espesor.

La experiencia en la construcción de sobre capas de concreto asfáltico sobre pavimentos de concreto, indica que se tiene problemas adicionales si las juntas existentes no son limpiadas y preparadas adecuadamente para el sobre capado. Las juntas empozan agua o proveen un canal desde el cual el agua será expulsada desde debajo de la junta. Esta acción se ve reflejada por un resoplido de la junta inmediatamente después del rodillazo de la sobre capa. Cuando estas fuerzas están presentes, la sobre capa comúnmente mostrará una grieta refleja al final del día. Por lo mencionado anteriormente, se debe remover cualquier material contaminante que este presente en la junta o grieta; esto se logra empleando cualquiera de los siguientes métodos:

*Tomado del artículo "Nuevas técnicas de rehabilitación de pavimentos de concreto", publicado en la página web www.moptt.gov.cl.

- **Limpieza de chorro de arena (sandblasting).** Consiste en la aplicación de arena a presión para eliminar cualquier residuo del sello antiguo, aceite u otro material extraño depositado en las juntas que impida la adherencia del nuevo material de sellado.
- **Chorro de agua a alta presión (waterblasting).** Consiste en la aplicación de agua a alta presión. Una vez limpia la junta, se le aplicará aire comprimido. Este proceso se repetirá hasta que la junta o grieta esté libre de cualquier material extraño y quede expuesta una cara de concreto nueva y limpia. Una vez removido el material antiguo y limpiado la junta o grieta se procede a la instalación del cordón de respaldo y finalmente la colocación del sello.

REFUERZOS RÍGIDOS

3.6 Concreto de cemento portland como material de refuerzo

El concreto es un material formado por materiales granulares (piedra partida o grava y arena) embebidos en una pasta de cemento que hace de ligante. Los materiales granulares son adquiridos de fuentes naturales y deben cumplir con determinadas condiciones de granulometría. El cemento se obtiene a partir de la cocción de piedra caliza y arcilla que forma el clinker, el cual es finamente molido agregándole un 5 % de yeso para formar el cemento.

El refuerzo de concreto de cemento portland es usado primordialmente para aumentar la capacidad estructural del pavimento existente, o bien para renovar sus características superficiales (aumenta la calidad de rodadura). Esta técnica esta siendo muy utilizada actualmente, sobretodo en pavimentos flexibles (whitetopping).

Dependiendo del tipo de interface pueden ser: Adheridas y no adheridas. De igual manera, si presentan un tipo de refuerzo, éstas se clasifican en: Refuerzo de concreto simple, refuerzo de concreto reforzado con juntas y refuerzo de concreto continuamente reforzado.

3.7 REFUERZO ADHERIDO AL PAVIMENTO EXISTENTE

Este tipo de refuerzo es usualmente delgado y por lo tanto su capacidad estructural depende del pavimento existente. Esto significa que éste debe estar libre de fallas si se quiere un buen comportamiento del refuerzo.

En esta técnica de rehabilitación, el refuerzo pasa a formar un todo con la losa existente, resistiendo ambos solidariamente la acción de las cargas de tránsito; es por eso la necesidad de lograr una buena adherencia entre el refuerzo y el pavimento existente.

Un refuerzo de concreto adherido, adecuadamente construido, proporciona una mayor vida útil al pavimento rehabilitado, de igual manera aumenta su capacidad estructural y disminuye los costos del ciclo de vida del pavimento en comparación con otras técnicas de rehabilitación. Aunque el costo inicial de este tipo de refuerzo puede ser elevado en comparación con el refuerzo de concreto asfáltico, los beneficios a largo plazo son mayores, por lo tanto se presenta como una alternativa viable de rehabilitación.

En general, los espesores de refuerzo de concreto adherido varían entre 2 y 6 pulg (5 a 15 cm), siendo lo más común adoptar espesores de 3 a 4 pulg (7.5 a 10 cm). También se han utilizado satisfactoriamente refuerzos de 1 pulg (2.5 cm) sobre pavimentos de concreto sano.

El refuerzo de concreto adherido presenta las siguientes ventajas y desventajas:

3.7.1. Ventajas

- Al utilizar este tipo de refuerzo se disminuyen las operaciones de mantenimiento y por ende hay una reducción en los costos, lo cual es muy ventajoso en áreas urbanas ya que no hay una interrupción frecuente del tráfico.
- En comparación con otros tipo de refuerzo; un refuerzo de concreto no

adherido de 25 mm (1pulg) brinda el mismo beneficio estructural que un refuerzo de concreto asfáltico de 62.5 mm (2.5 pulg). De la misma manera, si el espesor efectivo de la losa es incrementado por este tipo de refuerzo la deflexión vertical y el esfuerzo en la sub rasante decrecen significativamente.

- Si la obra tiene que habilitarse enseguida, se podrá construir el refuerzo con cemento portland de alta resistencia inicial (fast-track); sin que esto signifique un costo adverso al proyecto, debido al poco espesor de este tipo de refuerzo.

3.7.2. Desventajas

- Este tipo de refuerzo no es aplicable cuando el grado de fisuración del pavimento existente es alto o cuando la losa presenta deterioros serios debido a problemas de durabilidad. Solamente es aplicable en pavimentos sanos, libres de fallas.
- El refuerzo a colocar debe ser del mismo tipo del pavimento existente, es decir, si el pavimento existente es un pavimento de concreto armado con juntas el refuerzo debe ser de concreto armado con juntas.
- Todas las juntas del pavimento original deben ser reproducidas en el refuerzo en lo que respecta a ubicación y tipo.
- En pasos a bajo nivel cuando las condiciones de gálibo no permiten instalar un refuerzo. Es poco probable que ocurra esto, ya que este tipo de refuerzo es de poco espeso.
- En lo que respecta al procedimiento constructivo, la preparación de la superficie para lograr la completa adherencia con el refuerzo, es la etapa más crítica.

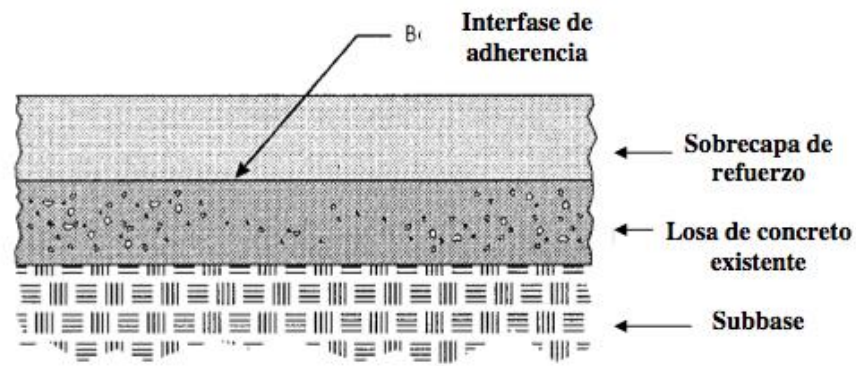
3.8 Construcción de la interface (capa de adherencia)

Procedimientos de adherencia y materiales

El desempeño exitoso de una sobre carpeta adherida depende de la adherencia con la superficie existente. Después de la preparación de la superficie, el próximo paso es

la construcción de la interface de adherencia o capa de adherencia (Figura 3.9). Para esto, se deben tener en cuentas los siguientes pasos:

- Primero, se deben remover los materiales contaminantes presentes en la superficie del pavimento como residuos de aceite o petróleo con cepillos de alambre de fierro (wire brushing) para lograr una superficie limpia que permita la adecuada adherencia con el refuerzo.
- Luego la superficie debe ser sometida a un aumento de rugosidad a través de la remoción de una fina capa de concreto, de tal manera que no fisure la superficie. Se recomienda el uso de arena a presión (sandblasting) o granalla a presión (shotblasting) o la combinación de las dos. La Asociación Americana de Pavimentos de Concreto (ACPA, por sus siglas en ingles), recomienda que la remoción de esta capa debe estar entre los 3 y 6 mm. Hay que tener en cuenta que los residuos de grasa o aceite de los camiones concreteros u otros elementos contaminantes propios de la construcción pueden impedir la adecuada adherencia, por lo tanto deben removerse inmediatamente.
- Finalmente, se aconseja el uso de un agente adherente, sobre la superficie limpia y rugosa, para lograr una mejor adherencia. Para ello se puede usar una lechada (grout) de cemento o una resina epóxica de baja viscosidad. Cuando se emplee grout hay que tener en cuenta que éste no debe secarse ni hidratarse completamente antes de colocar el refuerzo.



*Figura 3.9 Refuerzo adherido**

*Tomado de la National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), año 1994, No 204

3.9 Extensión de lechada

La extensión de lechada sobre el pavimento existente, se la realizará una vez preparada su superficie, para obtener una adecuada adherencia entre la capa y el pavimento existente es un tema en discusión. Son numerosas las obras con buenos resultados en las que no se ha utilizado lechada. Aunque al aplicarla ofrecen una mayor resistencia a la adherencia.

Puesta en obra del hormigón.-

En general, las operaciones de puesta en obra son similares a las de los pavimentos de hormigón en calzadas de nueva construcción. Debe procurarse que haya una diferencia de temperatura lo más reducida posible entre el refuerzo y el pavimento existente. En caso necesario, éste debe regarse con agua, eliminando luego cualquier charco que haya podido producirse.

3.10 Comprobación de la adherencia entre el refuerzo y el pavimento existente

Para estimar si se ha obtenido una buena adherencia puede recurrirse a distintos ensayos. Uno de los más utilizados consiste en aplicar a un testigo un esfuerzo cortante en la interfaz refuerzo – pavimento. Se considera que un valor del orden de 1,4 MPa es suficiente para garantizar que la adherencia es correcta.

Experiencia internacional.-

Estados Unidos es el país con más experiencia en este tipo de refuerzos, que vienen aplicándose con éxito desde la segunda década del siglo pasado. No obstante, no hay que olvidar que la necesidad de obtener una adecuada adherencia entre el hormigón nuevo y el existente hace que se trate de una técnica.

3.11 REFUERZO NO ADHERIDO AL PAVIMENTO EXISTENTE

En este tipo de rehabilitación, el refuerzo y la losa existente se comportan estructuralmente como dos capas independientes. El refuerzo no adherido se diseña

con una capa de separación entre el refuerzo y la losa existente, con el fin de evitar la adherencia entre ambos y aislar al refuerzo de grietas y otros deterioros de la losa existente.

Este tipo de refuerzo se ha utilizado satisfactoriamente tanto en pavimentos rígidos como flexibles muy deteriorados. También se puede utilizar cualquier técnica de fracturado, previa a la colocación de la capa de separación. La Asociación de Cemento Portland (PCA, por sus siglas en inglés), recomienda los siguientes espesores mínimos para el refuerzo de concreto no adherido, los cuales están en función del tránsito. Los valores se muestran en la tabla 3.1.

Tránsito	Ejes pesados (ESALs en millones) en 20 años	Espesor	
		Refuerzo con pasadores y barras de unión	Refuerzo sin elementos de unión
Moderado	< 1	12.5cm (5 pulg)	15 cm (6pulg)
Pesado	1 – 10	15 cm (6pulg)	17.5 cm (7 pulg)
Muy pesado	> 10	17.5 cm (7 pulg)	20 cm (8 pulg)

*Tabla 3.1 Valores de espesores mínimos para refuerzos no adheridos**

El refuerzo de concreto no adherido presenta las siguientes ventajas y desventajas:

3.11.1. Ventajas

- Es una alternativa factible para todos los tipos de concreto.
- Tiene una gran ventaja en comparación con el refuerzo adherido , ya que no se necesita hacer coincidir las juntas o grietas del pavimento existente con las juntas del refuerzo.
- Es más efectivo, desde el punto de vista de los costos, cuando el pavimento existente está muy deteriorado ya que hay una menor necesidad de reparaciones previas.
- Se utiliza mayormente para rehabilitar zonas con alto volumen de tránsito pesado.

- La preparación de la superficie solo consiste en limpiar y sellar las juntas y grietas existentes. Sin embargo, es necesario reparar fallas estructurales que pueden afectar el comportamiento del refuerzo
- No requiere de técnicas especiales para su construcción.

3.11.2. Desventajas

- No es aplicable en los casos en que los deterioros en losas y descascamientos en juntas son poco importantes ya que aparecen otras alternativas de rehabilitación más económicas.
- La gran desventaja de este tipo de refuerzo, es el gran espesor que se requiere y por ende una gran inversión inicial, que muchas veces no se dispone.
- No es aplicable cuando el gálibo bajo puentes puede quedar reducido por el refuerzo.
- No es aplicable cuando el pavimento existente es susceptible de sufrir grandes hinchamientos y descascamientos.

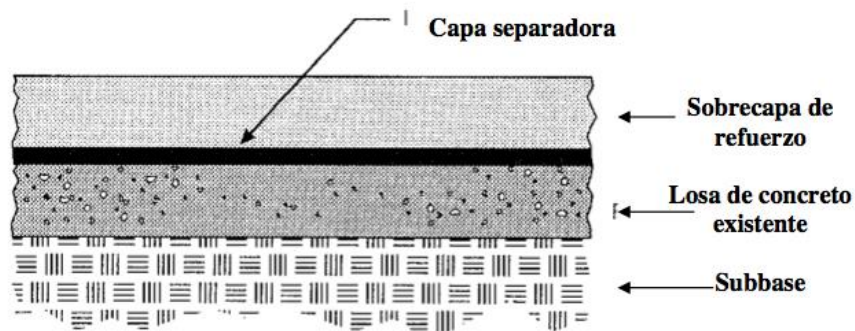
3.12 Preparación de la superficie del pavimento

Cuando se va a construir un refuerzo no adherido, las reparaciones previas son menores que en el caso de un refuerzo adherido. Sin embargo, aquellas juntas que se encuentren muy deterioradas deben ser reparadas y el tratamiento más aconsejable para estos casos es la reparación en todo el espesor. Para juntas con descascamientos leves, pueden ser tratadas con reparación de espesor parcial o rellenadas con el material de la interfase.

Las juntas escalonas mayores a 6 mm (05 pulg) requieren especial atención, para el caso en que el escalonamiento sea inferior a 6mm se puede cepillar la superficie para eliminar estas irregularidades o en todo caso utilizar tratamientos superficiales como lechada asfáltica (slurry seal) para nivelar la superficie. En todos los casos de escalonamiento, se debe investigar la causa de la misma, para ver si es factible realizar la estabilización de losas o mejorar las condiciones de drenaje.

3.13 Construcción de la interface (capa separadora)

Después de la preparación de la superficie, el próximo paso es la construcción de la interface o capa separadora o capa rompedora de adherencia (figura 3.3). Ésta capa tiene como función aislar al refuerzo de las grietas u otros deterioros de la losa existente, con el fin de evitar la reflexión de fisuras en el refuerzo.



*Figura 3.10 Refuerzo no adherido**

Las capas separadoras más utilizadas son:

- Capas delgadas, siendo los tratamientos superficiales como lechada asfáltica (slurry seal) y arena-asfalto los más utilizados. Este tipo de capa se emplea siempre y cuando el pavimento existente no se encuentre muy deteriorado o las juntas no presenten grandes desplazamientos verticales diferenciales.
- Capa de concreto asfáltico, es la capa separadora más común y exitosa. También sirve como capa niveladora de la superficie existente.
- Otros materiales: cuando sólo sea necesario un efecto separador, podrán emplearse láminas de polietileno u otros productos que impidan la adherencia del pavimento existente con el refuerzo.

Para el uso adecuado de las capas, AASHTO propone las siguientes recomendaciones:

- Donde el escalonamiento en juntas y grietas es más grande que 6 mm (0.25 pulg), el descascaramiento es evidente y las losas están muy deterioradas, se recomienda construir una capa de concreto asfáltico de 25 mm (1pulg) como mínimo.
- Donde el escalonamiento y el descascaramiento no son severos, es suficiente una capa delgada de 13 mm (0.5 pulg) o un sellado slurry de 3 mm (0.125 pulg). Ésta capa debe ser capaz de cubrir el deterioro presente y evitar que este en contacto con el refuerzo.
- Donde el escalonamiento en juntas y grietas es inexistente un sellado slurry de 3mm es suficiente.
- Para caminos de tránsito intenso se debe considerar el problema potencial de erosión de la capa separadora. Un tratamiento superficial delgado se erosionará más fácil que un concreto asfáltico. Una solución interesante es usar como capa separadora una capa permeable de granulometría abierta que servirá como sistema de drenaje para captar las aguas. Este tipo de capa proveerá un excelente control de reflexión de fisuras, así como prevención de bombeo y erosión de la capa separadora.

3.14 Metodología de ensayos

En la Tabla 3.2. A continuación se muestra los ensayos y la descripción del mismo en forma resumida, tanto para caracterización de agregados de losa de hormigón de prueba como los para los ensayos de toma de muestras.

ENSAYO	DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO
Determinación del peso específicos de los suelos	Este método establece el procedimiento para determinar, mediante un picnómetro, la densidad de partículas sólidas de suelos compuestos por partículas menores que 5 mm. Cuando el suelo se compone de partículas mayores que 5 mm se

	debe aplicar el método de determinación de densidad neta de los gruesos, según Método para Determinar la Densidad Real, La Densidad Neta y La Absorción de Agua en áridos Gruesos.
Método para tamizar y determinar la granulometría	Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.
Método para determinar el desgaste mediante la maquina de los Ángeles.	Describe la forma en que debe ser realizada la prueba en la máquina Los Ángeles para la resistencia la abrasión del agregado, indica 4 tipos de prueba, dependiendo de la granulometría de la muestra.
Dosificación	En nuestro medio para realizar una dosificación de hormigón se utiliza la tabla de relaciones agua/cemento especificada en el código ACI, mientras que, para los agregados fino y grueso se requiere que sus propiedades cumplan las normas ASTM.
Método para extraer muestras del hormigón fresco	Este método establece los procedimientos para extraer muestras representativas del hormigón fresco, destinadas a ser ensayadas. Se aplicará a hormigones de cemento hidráulico, confeccionado tanto en losa de prueba laboratorio como en investigación de plataforma.

Toma de núcleos en hormigones endurecidos	Este método se refiere al procedimiento de obtención, preparación y ensayo de (a) núcleos extraídos de estructuras de hormigón para determinaciones de resistencia a la compresión y (b) vigas aserradas de estructuras de hormigón para determinaciones de resistencia a la flexión.
Método de ensayo a la compresión de probetas cilíndricas y núcleos	Este método establece el procedimiento para efectuar el ensayo a la rotura por compresión de probetas cúbicas y cilíndricas de hormigón.
Método de ensayo de resistencia a la compresión del hormigón usando una porción de viga de losa en ensayo a flexión	Este método describe el procedimiento utilizado en la delimitación de la resistencia a la compresión del hormigón, usando porciones de vigas rotas en el ensayo de flexión.

Desglose teórico de metodología de ensayos

3.14.1. Ensayos de caracterización de los materiales

GENERALIDADES

Las propiedades de los agregados son fundamentales para el estudio del hormigón; ya que estos forman del 70% al 80% de la dosificación en peso por lo que es necesario obtener varias de las características generales de los agregados para poder combinarlos adecuadamente, pudiendo mencionar las físicas, que son aquellas que no afectan la estructura y composición de los materiales. A continuación se indican algunas de las más importantes:

PROPIEDAD	CONCEPTO
Absorción	Capacidad de retener el agua.
Compacidad	Relación entre el volumen real y el aparente
Densidad	Relación entre la masa y el volumen
Porosidad	Relación entre el volumen de los poros y el volumen aparente.
Resistencia al desgaste	Porcentaje de pérdida de peso.
Resistencia mecánica	Capacidad de los materiales para soportar esfuerzos
Rigidez	Resistencia de un material a la deformación

TABLA 3.3 Propiedades generales de los materiales de construcción

A lo largo de la presente metodología se profundizará en el estudio de las propiedades que servirán para determinar la calidad de los materiales y su función al realizar la mezcla.

ENSAYOS DE LABORATORIO “ARENA”[^]

Para poder efectuar la dosificación del hormigón es necesario conocer varias de las propiedades de los agregados que se utilizarán para este propósito.

A continuación se detallan las pruebas necesarias y sus respectivos procedimientos para el agregado fino.

PESO ESPECÍFICO Y DENSIDADES APARENTES DE LA ARENA

Método para obtener el peso específico de acuerdo a las normas ASTM C 128[10].

PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA

Preparación de la muestra:

- Se lava una muestra representativa de la arena para eliminar el polvo, limos, arcillas o partículas orgánicas que ésta pueda contener y se la sumerge en agua durante 24 horas.

Condición S.S.S.:

- De la muestra ya saturada se toma una cantidad mayor a 500 gr, escurriendo el exceso de agua.
- Se coloca la muestra en una bandeja y se la introduce en el horno para acelerar el proceso de secado, o se la seca a temperatura ambiente.
- Para verificar que se ha alcanzado la condición de superficie saturada seca (sss), se coloca la muestra de forma suelta en un molde tronco cónico, compactándola de tal manera que al terminar de llenar el molde se completen 25 golpes con un pistillo, el cual se deja caer desde una altura de + 3,50 cm.
- Se enrasa y retira el material de la parte externa del molde, se comprueba que se ha alcanzado la condición sss, cuando al retirar el molde la arena se desmorona ligeramente. Si no se desmorona se le vuelve a introducir en el horno controlando el secado y si por el contrario el secado es excesivo se repite el ensayo.

Determinación de valores:

- Se pesa X cantidad de arena en condición SSS.
- Se instala en un picnómetro alrededor de 100 ml de agua y se introduce la arena en condición SSS.
- Se agita y se extrae el aire atrapado en el picnómetro usando la bomba de vacío.

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA ARENA

- Se llena el picnómetro con agua hasta el aforo, evitando introducir aire por medio de burbujas.
- Se pesa el picnómetro con la muestra de arena y agua. Luego se vierte el contenido en un recipiente y se lo pone a secar durante 24 horas.
- Se obtiene el peso seco de la arena.

Se realizan los cálculos mediante las siguientes expresiones:

$$P_{ESPECIFICO} = \frac{A}{(V-B)-(X-A)} \quad \text{ECU. (3.6)}$$

$$\delta_{SSS} = \frac{X}{V-B} \quad \text{ECU. (3.7)}$$

$$P_{ESP. AP.} = \frac{A}{V-B} \quad \text{ECU. (3.8)}$$

$$Abs_{AGUA} = \frac{X-A}{A} * 100 \quad \text{ECU. (3.9)}$$

DONDE:

$P_{ESPECIFICO}$ = Peso específico de la arena, en gr/cm³.

δ_{SSS} = Peso específico de la arena en condición sss, en gr/cm³.

$P_{ESP. AP.}$ = Peso específico aparente de la arena, en gr/cm³.

Abs_{AGUA} = Absorción del agua, en %.

A = Peso del material seco, en gr.

B = Peso del picnómetro con agua – T°, en gr.

C = Peso del picnómetro + muestra + agua, en gr.

V = volumen del picnómetro ml.

X = Peso de la muestra en condición sss en el aire, en gr.

DENSIDAD APARENTE DE LA ARENA

Método para obtener la densidad aparente de la arena de acuerdo a las normas ASTM C 29 09 [3].

Procedimiento:

- Se seca el material en el horno a una temperatura de 110°C.
- Se calibra el molde cilíndrico metálico.
- Se coloca la arena de manera suelta hasta llenar el molde, luego se enrasa el molde y se pesa.



FIGURA 3.11 Ensayo de densidad aparente en arena*

- Para determinar la densidad compactada se llena el molde en tres capas, cada una de las cuales se compacta con 25 golpes con la varilla de punta redondeada de 16 mm de diámetro. Una vez lleno el molde se enrasa y pesa.

Se calcula la densidad usando la siguiente expresión:

$$\delta_{APARENTE} = \frac{P_1 - P_2}{V} \quad \text{ECU. (3.10)}$$

DONDE:

$\delta_{APARENTE}$ = Densidad aparente suelta o compactada de la arena, en gr/cm³.

P1 = Peso del recipiente, en gr.

P2 = Peso del recipiente con material suelto o compactado, en gr.

V = Volumen del molde, en cm³.

* Laboratorio de Ensayo de Materiales y Mecánica de Suelos – F.I.C.A. – E.P.N.

GRANULOMETRÍA

El ensayo de granulometría consiste en determinar la gradación de las partículas. Método para obtener la granulometría de acuerdo a las normas ASTM C 136 [12].

Procedimiento:

- Se pone a secar una cantidad representativa de muestra de 18 a 24 horas a 110 °C, con el fin de que el contenido de humedad sea menor a 0.1% en masa.
- Se cuartea la muestra y se pesa aproximadamente un kilogramo.
- Se ordenan los tamices serie módulo de finura de Duff Abrams (No. 4, 8, 16, 30, 50, 100) de manera descendente de acuerdo a lo establecido en las normas ASTM C 33 08[5] y se colocan en la máquina tamizadora.



FIGURA 3.12 Tamizadora de agregados finos

- El tiempo de tamizado es el necesario para que no más del 1% en masa de material retenido en cualquier tamiz individual, pase el mismo durante 1 minuto de tamizado manual continuo.
- Se retiran los tamices de la máquina y se pesa el contenido de material retenido en cada uno de ellos. Con los pesos del material retenido en cada tamiz se calcula el módulo de finura.
- Se calcula el módulo de finura con la siguiente expresión:

$$M_F = \frac{\sum \% \text{ Retenido acumulados en los tamices serie } M_f}{100} \quad \text{ECU. (3.11)}$$

TAMAÑO TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA	
	LÍMITE DE GROSOR	LÍMITE DE FINURA
3/8 in. (9,50 mm)	100	100
No. 4 (4,75 mm)	95	100
No. 8 (2,36 mm)	80	100
No. 16 (1,18 mm)	50	85
No. 30 (600 μm)	25	60
No. 50 (300 μm)	5	30
No. 100 (150 μm)	0	10

TABLA 3.4 Superior e inferior para gradación en arena

ENSAYOS DE LABORATORIO “RIPIO”

A continuación se detallan las pruebas necesarias y sus respectivos procedimientos para el agregado grueso.

PESO ESPECÍFICO Y DENSIDADES APARENTES DEL RIPIO

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL RIPIO

El peso específico del ripio se lo obtiene de la relación entre el peso y el volumen del mismo. Método para obtener el peso específico en el ripio de acuerdo a la norma ASTM C 127-07 [9].

Preparación de la muestra:

- Se lavan las gravas para eliminar el material fino adherido en sus caras, luego se sumerge durante 24 horas en agua para lograr la saturación de las mismas.

Procedimiento:

- Se escogen alrededor de 15 a 25 gravas saturadas representativas y se las seca

superficialmente para lograr la condición sss, procurando que este paso se realice en el menor tiempo posible para evitar que se seque demasiado la muestra.

- Se pesa la muestra de gravas en condición sss en el aire.
- Se pesa la canasta sumergida en agua.
- Se colocan dentro de la canasta las gravas y se toma el peso con la muestra sumergida.
- Se coloca la muestra en un recipiente y se secan durante 24 horas. Una vez transcurrido este tiempo se toma el peso de la muestra seca.

Para calcular el peso específico se procede de la siguiente manera:

$$P_{ESPECIFICO} = \frac{A}{B-C} \quad \text{ECU. (3.12)}$$

$$\delta_{SSS} = \frac{X}{X-C} \quad \text{ECU. (3.13)}$$

$$P_{ESP. AP.} = \frac{A}{A-C} \quad \text{ECU. (3.14)}$$

$$Abs_{AGUA} = \frac{X-A}{A} * 100 \quad \text{ECU. (3.15)}$$

DONDE

PESPECÍFICO = Peso específico del ripio, en gr/cm³.

δ_{SSS} = Peso específico del ripio en superficie saturada seca, en gr/cm³.

PESP. AP. = Peso específico aparente del ripio, en gr/cm³.

AbsAGUA = Absorción de agua, en %.

A = Peso de la muestra seca, en gr.

B = Peso de la muestra en superficie saturada seca en el aire, en gr.

C = Peso de la muestra sumergida, en gr.

X = Peso de la muestra en condición sss en el aire, en gr.

DENSIDAD APARENTE

Método para obtener las densidades relativas del árido grueso de acuerdo a las normas ASTM C 29[3].

Procedimiento:

- Se calibra el molde cilíndrico.
- Se llena el molde con el ripio el cual se coloca de manera suelta, luego se enrasa y pesa.
- Para determinar la densidad compactada se llena el molde en tres capas, golpeando en cada capa un total de 25 veces con la varilla de compactación. Una vez lleno el molde se enrasa y pesa.

Se calcula la densidad usando el siguiente expresión:

$$\delta_{APARENTE} = \frac{P_1 - P_2}{V} \quad \text{ECU. (3.16)}$$

DONDE:

$\delta_{APARENTE}$ = Densidad aparente suelta o compactada de la arena, en gr/cm³.

P_1 = Peso del recipiente, en gr.

P_2 = Peso del recipiente con material suelto o compactado, en gr.

V = Volumen del molde, en cm³.

GRANULOMETRÍA

Nos sirve para conocer que tamaños de agregado contiene la muestra y determinar la uniformidad de la misma. Método para obtener la granulometría de acuerdo a las normas ASTM C 136 [12]. Procedimiento:

- Se analiza la muestra y se escoge el tamaño máximo nominal, el cual

determinará cuales tamices se deberán ocupar de acuerdo con la tabla 3.5.

- Se colocan los tamices ordenados de forma descendente en la tamizadora.

Size Number	Nominal Size	Porcentaje acumulado en peso que debe pasar cada tamiz (aberturas cuadradas)												
		4 in.	3 1/2 in.	3 in.	2 1/2 in.	2 in.	1 1/2 in.	1 in.	3/4 in.	1/2 in.	3/8 in.	No. 4	No. 8	No. 16
		100 mm	90.0 mm	75.0 mm	63.0 mm	50.0 mm	37.5 mm	25.0 mm	19.0 mm	12.5 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm
1	3 1/2 a 1 1/2 in. (90 a 37.5 mm)	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5					
2	2 1/2 a 1 1/2 in. (63 a 37.5 mm)			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
3	2 a 1 in. (50 a 25.0 mm)				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5				
357	2 in. a No 4 (50 a 4.75 mm)				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5		
4	1 1/2 a 3/4 in. (37.5 a 19 mm)					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5			
467	1 1/2 a No 4 (37.5 a 4.75 mm)					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5		
5	1 a 1/2 in. (25.0 a 12.5 mm)						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5			
56	1 a 3/8 in. (25.0 a 9.5 mm)						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5		
57	1 in. a No 4 (25.0 a 4.75 mm)						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5	
6	3/4 a 3/8 in. (19.0 a 9.5 mm)							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5		
67	3/4 in. a No. 4 (19.0 a 4.75 mm)							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5	
7	1/2 in. a No 4 (12.5 a 4.75 mm)								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	
8	3/8 a No 8 (9.5 a 2.36 mm)									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

TABLA 3.5 Requisitos de gradación para agregados gruesos



FIGURA 3.13 Máquina tamizadora de agregado grueso

- La cantidad de muestra que se necesita para realizar este ensayo se determina en la tabla 3.6, se coloca dentro de la tamizadora dicha cantidad de agregado grueso, previamente secado, cuarteado y pesado. Luego de transcurrido el tiempo se procede a tomar el peso del material que se retiene en cada uno de los tamices.

TAMAÑO NOMINAL MÁXIMO, ABERTURAS CUADRADAS, EN MM (pulgadas)	TAMAÑO DE LA MUESTRA DEL ENSAYO, MÍNIMO (Kg)
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50,0	20
63,0	35
75,0	60
90,0	100
100,0	150
125,0	300

TABLA 3.6 Tamaño de la muestra para ensayo de ripio

- Para calcular el MF se usan los porcentajes de peso retenidos acumulados en los tamices de la serie módulo de finura para agregado grueso (3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N° 4,.....). El uso de la serie MF dependerá del tamaño nominal de la muestra.

$$M_F = \frac{\sum \% \text{ Retenido acumulados en los tamices serie } M_f}{100} \quad \text{ECU. (3.17)}$$

ABRASIÓN

“Este ensayo consiste en determinar el desgaste que sufren las superficies de las partículas del agregado mediante una carga abrasiva compuesta de esferas de acero, al ser sometido en conjunto a rotación dentro de la máquina de los Ángeles.”³ Método para obtener la abrasión de acuerdo a las normas ASTM C 535 – 09[23].

Procedimiento:

- Se escoge la gradación a utilizarse dependiendo de los tamaños que se tengan de agregado, de acuerdo con la tabla 3.7.
- Se tamiza la cantidad necesaria para obtener los pesos requeridos según la tabla 3.7.

GRADACIÓN DE MUESTRAS DE ENSAYO					
Tamaño de las aberturas de tamiz en mm, (pulgadas) aberturas cuadradas		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		1	2	3	
75 (3 in.)	63 (2 ½ in.)	2500 ± 50	-----	-----	
63 (2 ½ in.)	50 (2 in.)	2500 ± 50	-----	-----	
50 (2 in.)	37.5 (1 ½ in.)	5000 ± 50	5000 ± 50	-----	
37.5 (1 ½ in.)	25 (1 in.)	-----	5000 ± 25	5000 ± 25	
25 (1 in.)	19 (¾ in.)	-----	-----	5000 ± 25	
TOTAL		10 000 ± 100	10 000 ± 75	10 000 ± 50	

TABLA 3.7. Gradación de acuerdo al tamaño de los agregados.

- Una vez obtenido los pesos retenidos necesarios para la gradación escogida, se procede a colocarlos dentro de la máquina de los Ángeles junto con la carga abrasiva.



FIGURA 3.14 Máquina de los ángeles

- La gradación determinará el número de revoluciones y la carga abrasiva que se utilizará.
- Luego de la primera fase se procede a pesar la muestra que se retiene en el tamiz # 12.
- Pesada la muestra se la vuelve a colocar en la máquina de los Ángeles, tanto lo que se retuvo en el tamiz # 12 como lo que pasó.
- La siguiente fase será hasta completar las revoluciones, se pesa el material retenido en el tamiz # 12.

El coeficiente de uniformidad y el porcentaje de abrasión se calculan con las siguientes expresiones:

$$\%_{ABRACION} = \frac{A - B}{A} * 100 \quad \text{ECU. (3.18)}$$

Para partículas mayores a 19mm:

$$C \text{ oef. Unif.} = \frac{\% \text{ de perdidas luego de 200 revoluciones}}{\% \text{ de perdidas luego de 1000 revoluciones}} \quad \text{ECU. (3.19)}$$

para partículas menores a 37,50mm:

$$\text{Coef. Unif.} = \frac{\% \text{ de pérdidas luego de 100 revoluciones}}{\% \text{ de pérdidas luego de 500 revoluciones}}$$

ECU. (3.20)

DONDE:

%ABRASION = Porcentaje de abrasión del ripio.

Coef.Unif. = Coeficiente de uniformidad del ripio.

A = Peso inicial de la muestra, en gr.

B = Peso retenido en el tamiz 12 después del ensayo, en gr.

3.15.2. HORMIGON PATRON DE ANÁLISIS DE REFUERZO

GENERALIDADES

En nuestro medio para realizar una dosificación de hormigón se utiliza la tabla de relaciones agua/cemento especificada en el código ACI, mientras que, para los agregados fino y grueso se requiere que sus propiedades cumplan las normas ASTM.

Se escogiera la resistencia comercial según las necesidades de la estructura , se elaboraron los cilindros (Patrón) dosificados para las resistencias escogida, con las relaciones agua/cemento del código ACI 211.1.; los cuales servirán como referencia para realizar las nuevas dosificaciones, las mismas que nos permitirán abaratar costos de producción brindándonos alternativas económicas mas competitiva, todo esto optimizando el recurso cemento pero sin perder la calidad del hormigón.

DISEÑO DE HORMIGÓN PARA REFUERZO ^

Las cantidades y propiedades de cada uno de los materiales que conforman el hormigón se deben seleccionar según el tipo de obra a realizar, éstos deben facilitar la colocación o puesta en obra del mismo y proporcionar las características físicas y mecánicas necesarias para su uso.

Con los datos obtenidos en laboratorio del cemento y agregados, se procederá a realizar las dosificación para las resistencias indicadas:

Procedimiento:

- Según granulometría se escoge el tamaño máximo del agregado grueso, el asentamiento y la resistencia que se desea obtener.
- De la tabla 3.8. se encuentra la cantidad de agua y contenido de aire necesario.

DESCENSO EN EL CONO	AGUA, litros por metro cúbico de hormigón corresponde al tamaño máximo de agregado que se indica abajo							
Revenimiento	1.0 cm	1.25 cm	2.0 cm	2.5 cm	4.0 cm	5.0 cm	7.5 cm	15.0 cm
SLUMP	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1.5"	2"	3"	6"

HORMIGÓN SIN INYECCIÓN DE AIRE								
2 - 5	208	198	183	178	163	153	144	124
7.5 - 10	228	218	203	193	178	168	158	139
14 - 17.5	243	228	213	203	188	178	168	149
Cantidad de aire embebido en el hormigón %	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

*TABLA 3.8 Cantidades de agua por metro cúbico de acuerdo al asentamiento en el cono**

- De la tabla 3.9. se toma la relación agua/cemento, de acuerdo a la resistencia probable que se desea obtener a los 28 días.

a/c por peso	Relación agua-cemento litros por saco de cemento	Resistencia probable a los 28 días (kg/cm ²)
		Hormigón sin aire embebido
0.265	15	425
0.353	19	350
0.445	22.5	280
0.530	26.5	210
0.623	30	180
0.705	34	140

*TABLA 3.9 Relación agua cemento **

* Comité ACI 211. (1991). Proporcionamiento de Mezclas, Concreto normal, pesado y masivo. American Concrete Institute.

- El volumen aparente de ripio se obtiene de la tabla 3.10 relacionando el módulo de finura del agregado fino (arena), con el tamaño máximo del agregado grueso (ripio).

cm	pulg	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3	3.1	3.2	= Mf
1	0.375	0.47	0.46	0.45	0.44	0.43	0.42	0.41	0.40	0.39	0.38	
1.25	0.5	0.56	0.55	0.54	0.53	0.52	0.51	0.50	0.49	0.48	0.47	
2	0.75	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60	0.59	0.58	0.57	
2.5	1	0.71	0.70	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	
4	1.5	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.70	0.69	0.68	
5	2	0.8	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	
7.5	3	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	
15	0.5	0.91	0.9	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	

TABLA 3.10 Volumen aparente de ripio

- La cantidad de cemento necesaria se calcula dividiendo el peso del agua para la relación agua/cemento.

$$P_{\text{cemento}} = \frac{P_{\text{agua}}}{a/c} \quad \text{ECU. (3.21)}$$

- El volumen de ripio se obtiene mediante la siguiente expresión.

$$V_{\text{ripio}} = V_{\text{apar.ripio}} \frac{\delta_{C \text{ ripio}}}{\delta_{SSS \text{ ripio}}} * 1000 \quad \text{ECU. (3.22)}$$

- La corrección de agua tomando en cuenta la absorción de los agregados se calcula mediante la siguiente expresión.

$$Aa = P_{\text{agregado}} * \left(\frac{100 + Ab\%_{\text{agregado}}}{100 + W\%_{\text{agregado}}} - 1 \right) \quad \text{ECU. (3.23)}$$

- Esta cantidad resultante se le suma a la inicial, ya que ésta no considera el agua que absorben los agregados por encontrarse totalmente secos, sino solamente la necesaria para realizar la mezcla.

Cabe indicar que esta dosificación tiene su comprobación al momento de realizar la mezcla donde se controla la consistencia del hormigón, mediante el uso del cono de Abrams, que debe cumplir con la norma ASTM C 143 08 [13] y su procedimiento es :

- Se llena el cono en tres capas, en cada una de ellas se da 25 golpes con la varilla de compactación (16 mm de diámetro y 600 mm de longitud con punta redondeada). Se debe procurar que al compactar la mezcla, los golpes apenas lleguen a la capa inferior. Este paso se puede evidenciar en la fotografía 3.1.
- En la capa final, se debe mantener la mezcla sobre el borde del cono hasta completar los 25 golpes, se enrasa el mismo rodando la varilla sobre el borde superior del molde.
- Se levanta cuidadosamente en dirección vertical, para instalar junto a la muestra en posición inversa a la utilizada, como se muestra en la figura 2.19.
- Con la ayuda de un flexómetro se mide la diferencia de altura entre la parte superior del molde y el centro del hormigón asentado.

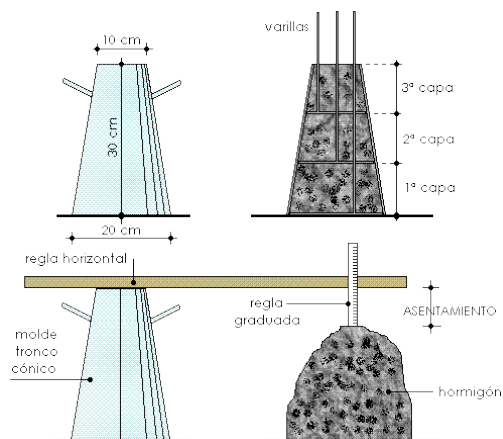


FIGURA 3.15 Comprobación del asentamiento con el cono de Abrams

Después de obtener el asentamiento requerido, se realiza el moldeo de los cilindros cuyo procedimiento se encuentra determinado en la norma ASTM C 31 09[4] y es el siguiente:

- Los moldes a ocuparse deben cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 470[19], los mismos deben estar previamente ajustados y con una fina capa de aceite mineral o material desmoldante no reactivo.
- Se vierte el hormigón en los cilindros en tres capas, se compacta cada capa con 25 golpes distribuyéndolos de manera uniforme sobre la sección transversal, para este efecto se usa la varilla de compactación.
- Luego de que cada capa ha sido compactada, se golpea el exterior del molde de 10 a 15 veces con un mazo (cabeza de caucho con una masa de $0,6 \text{ Kg} \pm 0,2 \text{ Kg}$). El propósito de estos golpes es cerrar los agujeros dejados por la varilla y eliminar el aire atrapado.

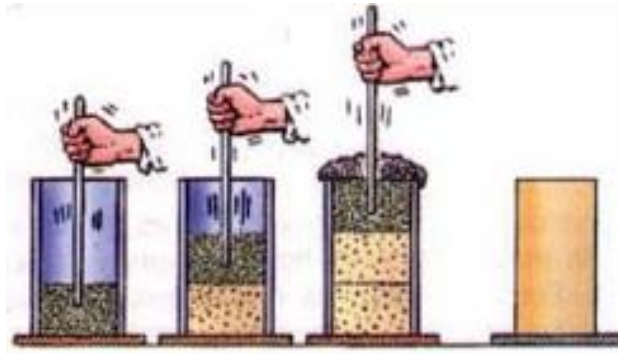


FIGURA 3.16 Elaboración de los cilindros patrón

- Se enrasan los cilindros procurando que su terminado no presente depresiones o proyecciones mayores a 3 mm.
- Es importante realizar el moldeo de los cilindros cerca del lugar donde se los va a ubicar para su fraguado, al día siguiente se los desencofra, identifica e instala en la cámara de curado de acuerdo a las normas ASTM C 511 – 06[22].

[^] NTE INEN 1573 y ASTM C 39 – 05

ENSAYOS DE LABORATORIO DE APLICACION DE REFUERZO[^]

Los ensayos de laboratorio que se utilizaron para determinar la resistencia del hormigón son: compresión y flexión. Para el caso específico de los cilindros patrón se realizara únicamente el ensayo de compresión, ya que son valores representativos respecto a la calidad del hormigón, y serán objeto primordial para determinar el porcentaje de diferencia entre la resistencia para la que fue diseñado y la que obtendrá una vez aplicado la carpeta de hormigón como refuerzo, de esta manera obtener las diferencia que presenten ambas condiciones a investigar.

COMPRESIÓN

La resistencia a la compresión del hormigón es la característica más importante, ya que permite medir el desempeño del mismo y es uno de los parámetros más significativos al momento de realizar el diseño de una estructura.

El ensayo a compresión se lo efectúa de acuerdo a la Norma ASTM C39 05 [6]. Es un ensayo destructivo que consiste en aplicar una carga axial sobre un cilindro (15 cm de diámetro y 30 cm de largo ya sea una extracción de núcleo), mediante el uso de una prensa hidráulica, esto se lo ejecuta a una velocidad de $0,25 \pm 0,05$ Mpa/s y se la debe mantener fija al menos durante la última mitad de la fase de carga, en la primera mitad de la fase se puede aplicar una velocidad de carga mayor pero de manera controlada, teniendo la precaución de que los cambios en las velocidades no produzcan variaciones bruscas en la curva esfuerzo-deformación del hormigón.

La relación entre longitud (L) y el diámetro (D) de un cilindro debe ser 2. En el caso de que la relación L/D del cilindro sea de 1,75 o menos, se debe corregir la resistencia por el factor de corrección apropiado como se muestra en la tabla 3.11. En el caso de que se tengan valores intermedios de L/D se efectuarán interpolaciones.

L/D	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

TABLA 3.11 Factor de corrección según la relación de longitud al diámetro

La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima alcanzada durante el ensayo para el área de la sección transversal del cilindro, como se indica en la siguiente expresión:

$$f'_c = \frac{P}{A_{cilindro}} \quad \text{ECU. (3.24)}$$

DONDE:

f'_c = Resistencia a la compresión, en Kg/cm².

P= Carga máxima alcanzada en el ensayo, en Kg.

$A_{cilindro}$ = Área transversal del cilindro, en cm².



FIGURA 3.18 Ensayo de compresión








Para comprobar la veracidad de los resultados y considerando los requerimientos de la norma se ensayaran 3 muestras a 28 días.

La precisión dentro del ensayo de compresión para cilindros fundidos la misma fecha y de una misma dosificación; para condiciones de laboratorio y campo se muestran en la tabla 3.12, dicha precisión es aplicable en un rango de resistencias entre 152.95 kg/cm² (15 MPa) y 560.82 kg/cm² (55 MPa) para los cilindros de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura y en un rango de resistencias entre 173.35 kg/cm² (17 MPa) y 326.30 kg/cm² (32 MPa) para los cilindros de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura.

CILINDROS		Coeficiente de variación	Rango aceptable de variación de resistencia de cilindros individuales	
			2 cilindros	3 cilindros
150 X 300 mm	Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
	Condiciones de campo	2,9 %	8,0 %	9,5 %
100 X 200 mm	Condiciones de laboratorio	3,2 %	9,0 %	10,6 %

TABLA 3.12 Precisión dentro del ensayo

La calidad del hormigón depende de los agregados utilizados, del tipo de cemento, dosificación y fabricación; estos determinan la falla que se presentará en las probetas al momento de realizar el ensayo de compresión. Las fallas más comunes son las mostradas en la Tabla 3.13:

TIPOS DE FALLAS		DESCRIPCIÓN
	CÓNICA	Se presenta cuando la carga de compresión está bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado.
	TRANSVERSAL	Se presenta comúnmente cuando las caras de aplicación de la carga se encuentran en el límite de desviación (perpendicularidad) tolerada especificada de 0,5°.
	COLUMNAR	Se presenta en especímenes que muestran una superficie de carga convexa y una deficiencia del material de refrentado, también por concavidad del plato de cabeceo o convexidad en una de las placas de carga.
		Se presenta en especímenes que muestran una cara de aplicación cóncava y por deficiencias del material de refrentado; también por concavidad de una de las placas de carga
		Se presenta cuando se producen concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga y deficiencia del material de refrentado, por rugosidades en el plato en el que se realiza el refrentado o por deformación de la placa de carga.
	CÓNICA Y DIVIDIDA	Se presenta en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga convexa y deficiencias del material de refrentado o rugosidades del plato de refrentado.
	CÓNICA Y TRANSVERSAL	Se presenta cuando las caras de aplicación de carga del espécimen están ligeramente fuera de las tolerancias de paralelismo establecidas o por ligeras desviaciones en el centrado del espécimen con respecto al eje de carga de la máquina.

*TABLA 3.13 Tipos de fallas en cilindros de hormigón sometidos a ensayo de compresión**

* *Todo propiedades. (s.f.). Mezclas para Construcción. España. Obtenido de http://www.todopropiedades.com.es/informacion/historia_hormigon.htm*

FLEXIÓN

El ensayo de la flexión está básicamente relacionado con la tensión producida en las vigas y se la realiza mediante el uso de una viga simplemente apoyada a la cual se aplican las cargas en los tercios medios de la luz libre.

Método de ensayo de las probetas prismáticas de acuerdo a las normas ASTM C 78 – 09 [8].

Procedimiento:

- Con la misma mezcla utilizada para realizar los cilindros de compresión y tracción se fabricaron las viguetas prismáticas de 15 x 15 x 60 cm para las diferentes dosificaciones.
- Se engrasan los moldes rectangulares que van a contener la mezcla.



FIGURA 3.19 Moldes de vigas

- Se llena el molde en tres capas con 25 golpes en cada una de ellas tratando de repartirlos uniformemente a lo largo de la viga. El proceso de moldeado se sigue de acuerdo a las indicaciones que se encuentran en la norma ASTM C 31 09[4].
- Luego de terminar de llenar y taquear las vigas se procede a sacar el aire atrapado mediante el uso de un martillo de goma dándole 25 golpes a lo largo del molde.

- Se enrasan las vigas procurando que las superficies de las mismas queden lo mas lisas posible como se muestra en la fotografía 3.20.



FIGURA 3.20 Elaboración de las vigas

- Luego de 24 horas se procede a desencofrar las vigas, se les identifica y se las somete al proceso de curado el cual durará 7 días según lo establecido en la norma ASTM C 31 09[4].

El ensayo de flexión se lo realizó en una prensa hidráulica en la cual se instalaron unos rodillos sobre los cuáles se coloca la viga como se muestra en la fotografía 3.21

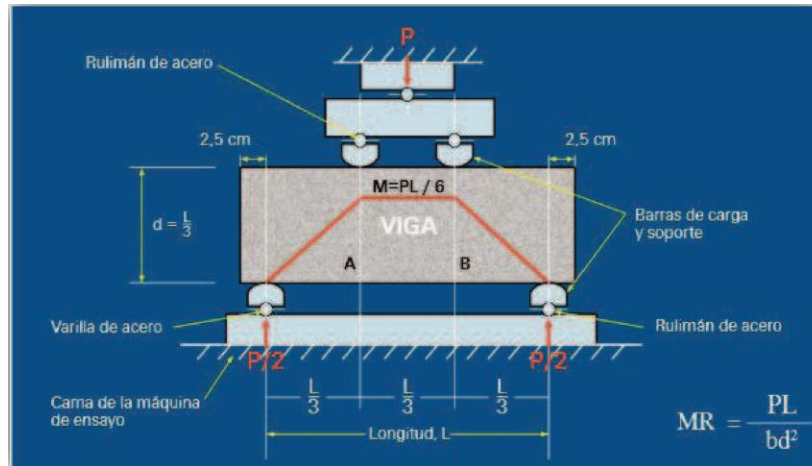


FIGURA 3.21 Ensayo de flexión de las vigas*

Se tomaron las medidas iniciales de la viga, con las mismas se señalaron los puntos en donde irán instalados los apoyos, tal que las cargas que se apliquen se encuentren en los tercios medios de la luz libre como se muestra en la gráfica 3.21. Una vez

* INECYC. (2009). Control de calidad en el Hormigón. Notas Técnicas

colocada la viga en la posición correcta, se aplica una carga constante hasta que ésta se rompa.

Se toman las dimensiones de la viga en el punto de rotura y se calcula la resistencia a flexión mediante las siguientes expresiones:

- Si la rotura se presenta en el tercio medio:

$$MR = \frac{PL}{bd^2} \quad \text{ECU. (3.25)}$$

DONDE:

MR = Módulo de rotura, en Kg/cm².

P = Carga máxima alcanzada en el ensayo, en Kg.

L = Luz libre, en cm.

b = Promedio del ancho del espécimen, en la fractura, en cm.

d = Promedio de la altura del espécimen, en la fractura, en cm.

- Si la rotura se produce fuera del tercio medio, pero no más allá del 5% de la luz libre:

$$MR = \frac{3Pa}{bd^2} \quad \text{ECU. (3.26)}$$

DONDE:

MR = Módulo de rotura, en Kg/cm².

P = Carga máxima alcanzada en el ensayo, en Kg.

a = Distancia media entre la línea de fractura y el apoyo más cercano en la superficie de tracción de la viga, en cm.

b = Promedio del ancho del espécimen, en la fractura, en cm.

d = Promedio de la altura del espécimen, en la fractura, en cm.

- Si la rotura se produce fuera del tercio medio más allá del 5% de la luz libre, se deberán desechar los resultados del ensayo.

La forma de rotura de las vigas se muestra a continuación. Cabe recalcar que todos los ensayos realizados en las mismas, mostraron una rotura dentro del tercio medio.



*FIGURA 2.26 Ensayo y rotura a flexión de la viga # 2 - 28 días**

* Laboratorio de Ensayo de Materiales y Mecánica de Suelos – F.I.C.A. – E.P.N.
^ NTE INEN 1573 y ASTM C 39 – 05

CAPÍTULO IV INVESTIGACIÓN SOBRE HORMIGÓN ADHERIDO Y NO ADHERIDO EN PAVIMENTOS RÍGIDOS

4.1 Enfoque de la investigación

El presente proyecto dirige su investigación al comportamiento de los refuerzos de hormigón en condición adherida y no adherida sobre pavimento de hormigón existente. Para ello se realizarán una losa en laboratorio simuladora de losa de pavimento, en la cual se aplicaran estos refuerzos en ambas condiciones para su posterior análisis con ensayos a compresión y flexión. De esta manera obtener el objetivo de esta investigación conociendo como actúan los refuerzos que con relación a los espesores de los pavimentos estos son reducidos, de igual manera conocer los incrementos o en casos desfavorables el decremento de las resistencia una vez aplicado las condiciones de refuerzo.

La misma aplicación se la materializará en una losa de pavimento real donde su condición presenta un grado de deterioro debido a los años de servicio se analizarán los resultados tanto de laboratorio como de plataforma los cuales serán estudiados y posterior a esta se presentará las conclusiones.

4.2 Muestreo de materiales para la investigación

Como es de conocimiento el muestreo consiste en tomar una fracción, de manera que la muestra recogida sea representativa. El objetivo del muestreo es obtener una parte representativa del material bajo estudio para la cual se examinaran las variables fisicoquímicas de interés.

El volumen del material escogido se transporto al laboratorio para el respectivo análisis. Para lograr el objetivo se conservó la muestra con componentes presentes en el material original y que no hayan ocurrido cambios significativos en su composición antes del análisis.

Las técnicas de recolección y preservación de las muestras tuvieron gran importancia, debido a la necesidad de verificar la precisión, exactitud y representatividad de los datos que resulten de los análisis.

4.3. Caracterización de materiales para la investigación

Los agregados fino y grueso a utilizarse para el presente proyecto provienen de la zona El Racho, de la Chancadora ERIKA Srl.

4.3.1. Caracterización de agregados

Para poder realizar la dosificación del hormigón fue necesario conocer varias de las propiedades de los agregados que se utilizarán para este propósito. A continuación Tabla 4.1 se detallan las pruebas necesarias para los agregados, mediante los respectivos procedimientos en el anterior capítulo mencionado en el punto (3.15 METODOLOGIA DE ENSAYOS).

Las propiedades que se describen a continuación son las que determinan la calidad del mismo y por ende, nos garantizan que las dosificaciones realizadas alcancen las resistencias requeridas, para lo cual es necesario se sigan las normas correspondientes en cada uno de los ensayo

ENSAYO	DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO
Determinación del peso específicos de los suelos	Este método establece el procedimiento para delimitar, mediante un picnómetro, la densidad de partículas sólidas de suelos compuestos por partículas menores que 5 mm. Cuando el suelo se compone de partículas mayores que 5 mm se debe aplicar el método de especificación de densidad neta de los gruesos, según Método para Determinar

	la Densidad Real, La Densidad Neta y La Absorción de Agua en áridos Gruesos.
Densidad aparente	La densidad aparente del cemento es la masa por unidad de volumen considerando el aire contenido entre las partículas
Método para tamizar y determinar la granulometría	Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.
Método para determinar el desgaste mediante la maquina de los Ángeles.	Describe la forma en que debe ser realizada la prueba en la máquina Los Ángeles para la resistencia la abrasión del agregado, indica 4 tipos de prueba, dependiendo de la granulometría de la muestra.

TABLA 4.1 Descripción de ensayos de caracterización

Luego de realizados cada uno de los ensayos para considerar al material apto para la fabricación del hormigón para la losa de prueba en laboratorio, se muestran los resultados:

TABLA R.4.2: Valores característicos de la arena.

MODULO DE FINURA		2,82
PESO ESPECIFICO		2,41 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO S.S.S.		2,53 gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA		3,24 %
DENSIDAD	SUELTA	1,52 gr/cm ³
	COMPACTADA	1,63 gr/cm ³
CONTENIDO ORGANICO	Nº DE PLACA	0

GRAFICA R.4.1: Curva granulométrica de la arena

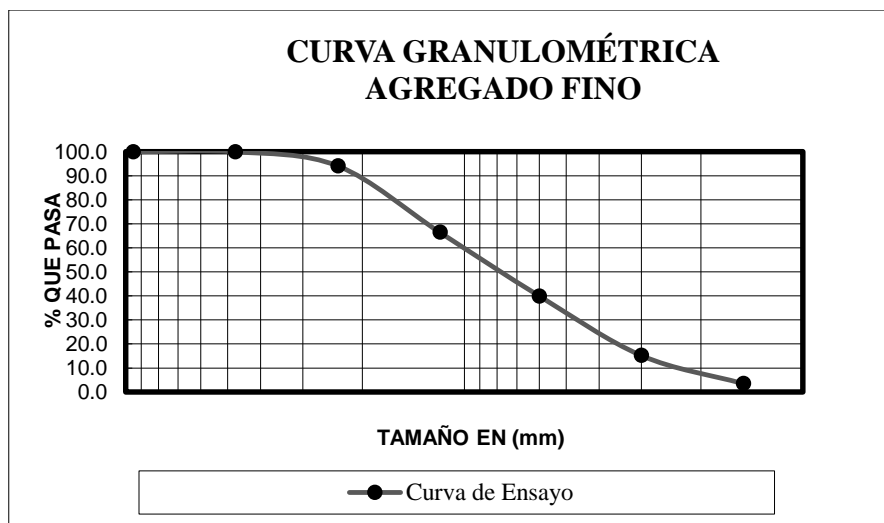


TABLA R.4.3: Valores característicos de grava

TAMAÑO NOMINAL	$\frac{3}{4}$ "	
PESO ESPECIFICO	1,92 gr/cm ³	
PESO ESPECIFICO S.S.S.	2,07 gr/cm ³	
ABSORCIÓN DE AGUA	8,3 %	
DENSIDAD	SUELTA	1,33 gr/cm ³
	COMPACTADA	1,49 gr/cm ³
GRADACIÓN N°	B	
CARGA ABRASIVA	11 Esferas	
ABRASIÓN EN PORCENTAJE	24,68 %	

GRÁFICA R.4.2: Curva granulométrica de grava

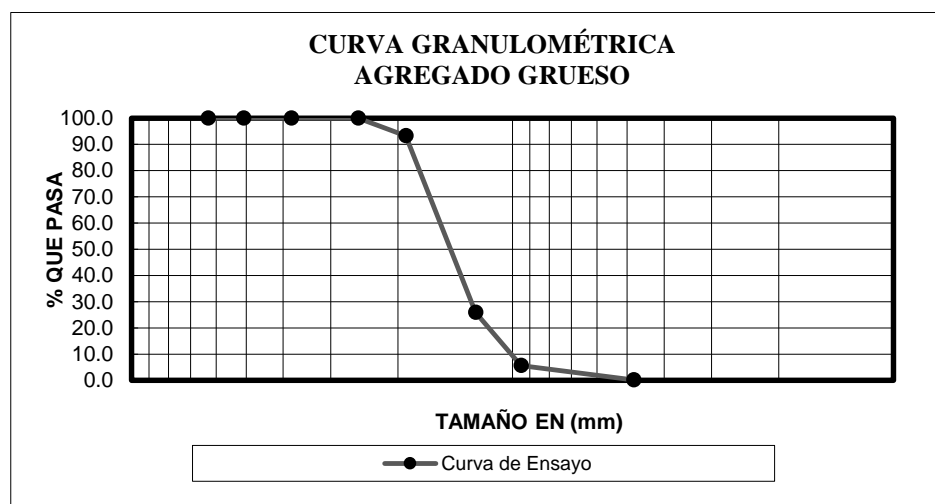


TABLA R.4.4: Valores característicos del cemento

Cemento EL PUENTE	IP-30
PESO ESPECIFICO	3,14 gr/cm ³

4.4. Dosificación de mezclas.

TABLA R.4.4: Dosificación al volumen para losa de prueba

Material	Por peso p/1 m³	Relación	Para	Para una bolsa
	[H°]		50,0 [lt]	de cemento
	Seco			
<i>Agua</i>	185,00	0,79	13,9	39,5
<i>Cemento</i>	351,71	1	17,6	50,0
<i>Grava</i>	953,60	2,72	47,8	136,0
<i>Arena</i>	552,32	1,58	27,7	78,8

4.4.1. Dosificación de la mezcla de prueba

En nuestro medio para realizar una dosificación de hormigón se utiliza la tabla de relaciones agua/cemento especificada en el código ACI, mientras que, para la caracterización de agregados fino y grueso se requiere que sus propiedades cumplan las normas ASTM. Se escogió la resistencia característica más desfavorable según las necesidades para un pavimento rígido no reforzado, simulando una losa de pavimento y elaboraron los cilindros (Patrón) dosificados para las resistencias de: 240 kg/cm² (23.54MPa) con las relaciones agua/cemento del código ACI 211.1. Todo esto optimizando el recurso cemento pero sin perder la calidad del hormigón.

TABLA R.4.5: Dosificación a proporción para losa de prueba

PROPORCIONES DE MEZCLA		
<i>Cemento</i>	<i>Arena</i>	<i>Grava</i>
1,0	1,6	2,7

4.4.2. Elaboración de probetas de control

Las dosificaciones utilizadas para elaborar las probetas de control, losa de prueba y las vigas convencionales, son las que se indican en la tabla con las referencias de las proporciones de mezcla de la tabla anterior. Se calculó para $0,45 \text{ m}^3$ para la elaboración de las losas de prueba, vigas convencionales y probetas de control, como se indica a continuación:

TABLA R.4.6: Dosificación al peso para losa de prueba

<i>Resistencia</i>	DOSIFICACIÓN AL PESO P/ $0,45 \text{ m}^3$ [KG]			
	<i>a/c</i>	<i>Cemento</i>	<i>Arena</i>	<i>Grava</i>
$F'c = 240 \text{ Kg/cm}^2$	0,79	159	250	430

4.4.2.1. Elaboración de la losa de prueba



Losa de prueba en estado desencofrado [IMG.1] Probetas y vigas convencionales [IMG.2]

Se realizó el vaciado de las losas de prueba, las probetas y las vigas convencionales para los ensayos, tanto a compresión y flexión.

4.4.2.2. Rotura de probetas

La resistencia a la compresión del hormigón es la característica más importante, ya que permite medir el desempeño del mismo y es uno de los parámetros más significativos al momento de realizar el diseño de una estructura, es por ello que se efectuó la ruptura de tres probetas convencionales para verificar la resistencia actual de la losa de prueba a ser reforzada aplicando las condiciones de refuerzo a investigar. Se las sometió a compresión en la maquina hidráulica como se muestra en la [IMG.3]:



4.4.2.3. RESULTADOS.

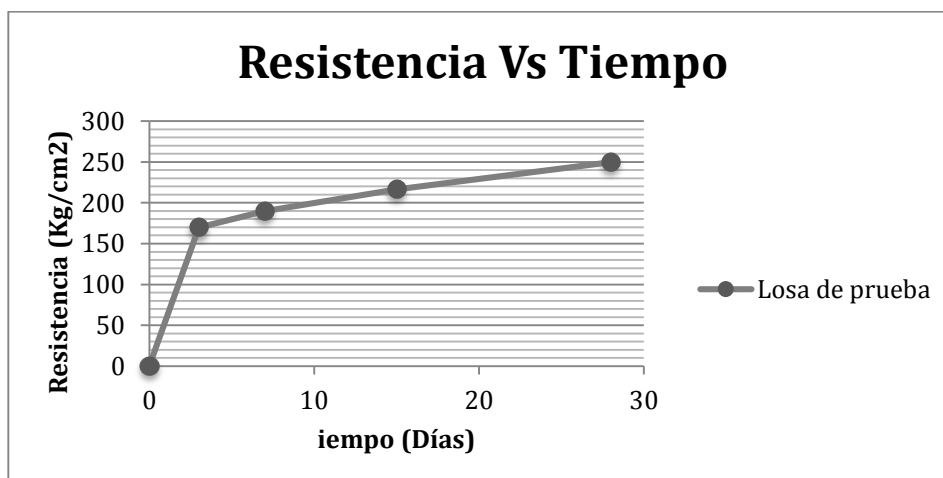
Resistencias promedio obtenidas para la dosificación de 240 Kg/cm² para la losa de prueba en laboratorio se reflejaron en (3 cilindros), se muestra en la parte inferior de la tabla de resultados la resistencia representativa.

TABLA R.4.7: Resistencias obtenidas para la dosificación de losa de prueba

Losa de prueba LABORATORIO TIPO 240 (Kg/cm ²)						
Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Lectura (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)	Proyección 28 días (kg/cm ²)
Probeta N1	30/09/14	07/11/14	38	459	264,82	250,91
Probeta N2	30/09/14	07/11/14	38	444	256,10	242,65
Probeta N3	30/09/14	07/11/14	38	468	269,90	255,72

Resistencia Promedio (3 probetas) = 249,76 Kg/cm²

GRAFICA R.4.3: Curva resistencia vs tiempo para la dosificación losa de prueba 240 kg/cm²



INVESTIGACIÓN DE CONDICIONES ADHERIDAS Y NO ADHERIDAS.

4.4.3 Investigación en laboratorio

4.4.3.1 Preparación de materiales

Nuevamente se escogió un volumen de material para su respectiva caracterización, de esta manera poder constatar de que es apto para la elaboración del hormigón para la aplicación del refuerzo en condición adherida y no adherida a continuación se presentan los resultados de caracterización del material para el refuerzo.

TABLA R.4.8: Valores característicos de la arena

MODULO DE FINURA		3.02
PESO ESPECIFICO		2,64 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO S.S.S.		2,42 gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA		3,54 %
DENSIDAD	SUELTA	1,52 gr/cm ³
	COMPACTADA	1,69 gr/cm ³
CONTENIDO ORGANICO	Nº DE PLACA	0

GRAFICA R.4.4: Curva granulométrica de la arena

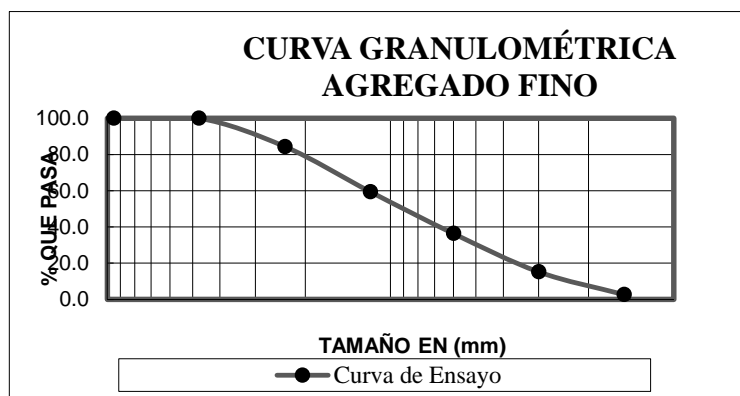
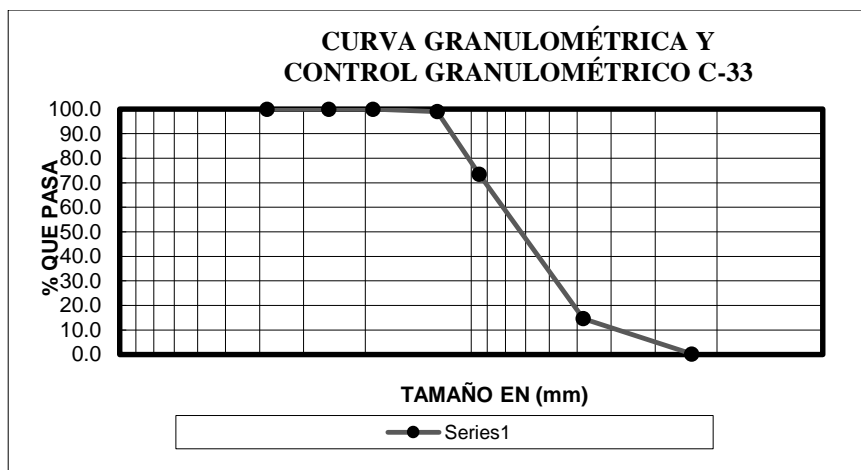


TABLA R.4.9: Valores característicos de grava

TAMAÑO NOMINAL		1/2"
PESO ESPECIFICO		2,49 gr/cm ³
PESO ESPECIFICO S.S.S.		2,51 gr/cm ³
ABSORCIÓN DE AGUA		6,4 %
DENSIDAD	SUELTA	1,39 gr/cm ³
	COMPACTADA	1,51 gr/cm ³
GRADACIÓN N°		c
CARGA ABRASIVA		8 Esferas
ABRASIÓN EN PORCENTAJE		23,62 %

GRAFICA R.4.5: CURVA GRANULOMÉTRICA DE GARVA



Posterior a la caracterización se realizó la dosificación para los refuerzos adheridos y no adheridos, tomando resistencia característica de: 240 kg/cm² (23.54MPa) y 320 kg/cm² (32.00MPa) con las relaciones agua/cemento del código ACI 211.1. Todo esto optimizando el recurso cemento pero sin perder la calidad del hormigón.

TABLA R.4.10: Dosificación al volumen para aplicación de refuerzo

Hormigón tipo 240kg/cm²

Material	Por peso p/1 m ³ [H°]	Relación	Para	Para una bolsa
	Seco		50,0 [It]	de cemento
Agua	200,00	0,49	10,0	24,5
Cemento	408,16	1	20,4	50,0
Grava	1064,41	2,61	53,2	130,4
Arena	664,40	1,63	33,2	81,4

TABLA R.4.11: Dosificación al volumen para aplicación de refuerzo

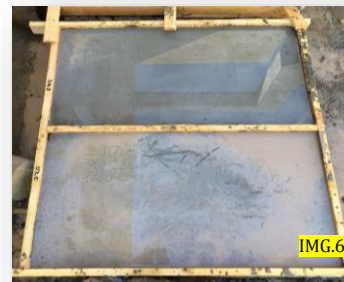
Hormigón tipo 320kg/cm²

Material	Por peso p/1 m ³ [H°]	Relación	Para	Para una bolsa
	Seco		50,0 [It]	de cemento
Agua	200,00	0,42	10,0	21,0
Cemento	476,19	1	23,8	50,0
Grava	1007,21	2,18	50,4	105,8
Arena	664,40	1,40	33,2	69,8

4.4.3.2 Vaciado en condiciones adheridas



Se preparo la superficie de las losas de prueba para aumentar rugosidad y mejorar la adherencia con el refuerzo, una vez culminado este trabajo se prosiguió a encofrar para el refuerzo [IMG.4], aplicando previo al vaciado una lechada de cemento [IMG.5], se espero unos minutos de la aplicación de la lechada para proseguir con vaciado del refuerzo en condición adherida.



Se realizó el vaciado del refuerzo dividiendo la losa en dos partes iguales una para resistencia en pavimento desfavorables de (240 Kg/cm²) y la otra para resistencia favorable a (320 Kg/cm²) [IMG. 6], del cual se aplicó de igual manera a los moldes de viga convencional [IMG.7,8,9].



4.4.3.3. Vaciado en condiciones no adheridas

Se preparo la superficie de las losas de prueba, aplicando la capa rompedora de adherencia mediante una capa delgada de mezcla asfáltica para que el refuerzo y la losa de prueba trabajen como dos capas independientes [IMG.10,11].



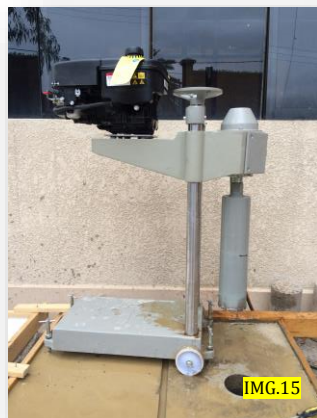
Se efectuó el vaciado del refuerzo dividiendo la losa en dos partes al igual que en el anterior condición para las resistencias de (240 Kg/cm²) y (320 Kg/cm²) [IMG12], del cual se adaptó de igual manera a los moldes de viga convencional [IMG. 13,14].



4.4.3.4. Extracción de núcleos

Se realizarón las extracciones de testigos o extracción de núcleo con el equipo denominado extractor, proporcionado por el laboratorio de asfaltos de la U.A.J.M.S [IMG. 15,16]. De la losa de prueba se extrajeron:

- Seis testigos en condición no adherida con dosificación de 240kg/cm²
- Seis testigos en condición no adherida con dosificación de 320kg/cm²
- Seis testigos en condición adherida con dosificación de 240kg/cm²
- Seis testigos en condición adherida con dosificación de 320kg/cm²



Núcleos extraído de losa de prueba en laboratorio

4.4.3.5. Rotura de núcleos

Las rupturas de núcleos se realizó en laboratorio con la máquina a compresión hidráulica, se ha practicado el ensayo a compresión de 12 extracciones cilíndricas de 10 cm x 20 cm por cada dosificación, con el fin de tener valores de referencia de la resistencia a compresión. las extracciones de losa de laboratorio se ensayaron a la edad de 15 días mientras que las extracciones de losa de real se ensayaron a la edad de 8 días. En las imágenes podemos apreciar dicho ensayo.



Ruptura de núcleos extraídos en condición adherida



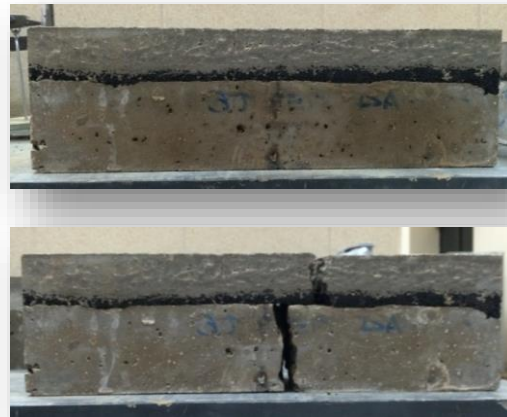
Ruptura de núcleos extraídos en condición no adherida

4.4.3.6. Ruptura de vigas a flexión

Al igual que las rupturas de núcleo estas se rompieron en la misma máquina. Se moldearon 12 probetas prismáticas de 15 cm x 15 cm x 50 cm, las cuales fueron desmoldadas a las 24 horas y colocadas en cámara húmeda. Todas las vigas fueron ensayadas a 15 días de colocado el refuerzo [IMG.17,18]



Las vigas fueron colocadas de manera que la aplicación de la carga se realice en una cara lateral a la posición de moldeo y apoyadas sobre pedestales metálicos que se comportan como apoyos simples, para distribuir la carga a los tercios de la luz [IMG.17]. A su vez, se tomaron las precauciones necesarias para que las vigas se encuentren centradas y niveladas. Se marcaron en las caras laterales el tercio medio de la luz para corroborar que la sección de rotura cumpla con la indicación de la norma en la cual se establece que la fractura se producirse en el tercio medio de la luz.



Ruptura de vigas con aplicación de refuerzo en condición no adherida.



Ruptura de vigas con aplicación de refuerzo en condición adherida.

Todas las vigas fueron ensayadas siguiendo este procedimiento, para garantizar la homogeneidad de los resultados obtenidos.

4.4.3.7. Resultados

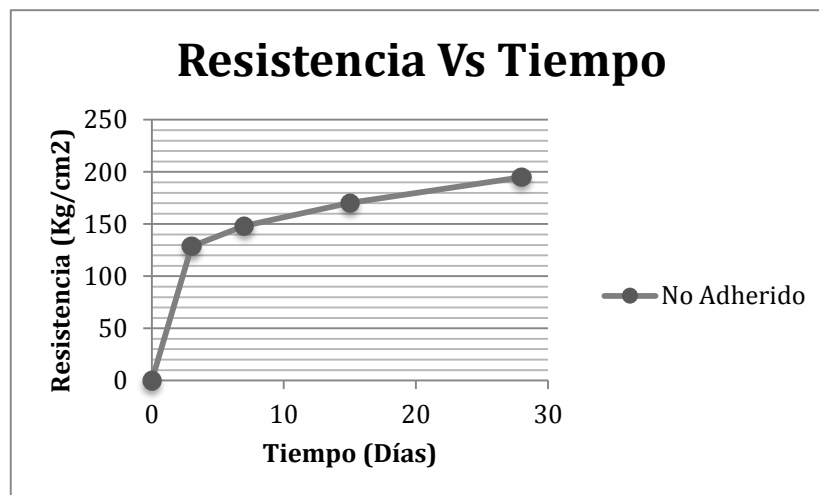
Los resultantes presentados en las tablas siguientes son de los núcleos extraídos losa de prueba con la aplicación de refuerzo a dos tipos de resistencia.

TABLA R.4.12: Resistencias a compresión obtenidas de “REFUERZO NO ADHERIDO EN LOSA DE PRUEBA”

APLICACIÓN DE REFUERZO NO ADHERIDO H. TIPO 240 (Kg/cm ²)						
Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Lectura (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)	Proyección 28 días (kg/cm ²)
Testigo N1	23/10/14	07/11/14	15	128,56	166,98	193,20
Testigo N2	23/10/14	07/11/14	15	116,52	151,34	175,11
Testigo N3	23/10/14	07/11/14	15	134,45	174,63	202,05
Testigo N4	23/10/14	07/11/14	15	126,65	164,50	190,33
Testigo N5	23/10/14	07/11/14	15	139,40	181,06	209,49
Testigo N6	23/10/14	07/11/14	15	134,77	175,05	202,54

Resistencia Promedio (6 extracción) = 195 Kg/cm²

**GRÁFICA R.4.6: Curva de resistencia a compresión
H-TIPO 240(Kg/cm²)**

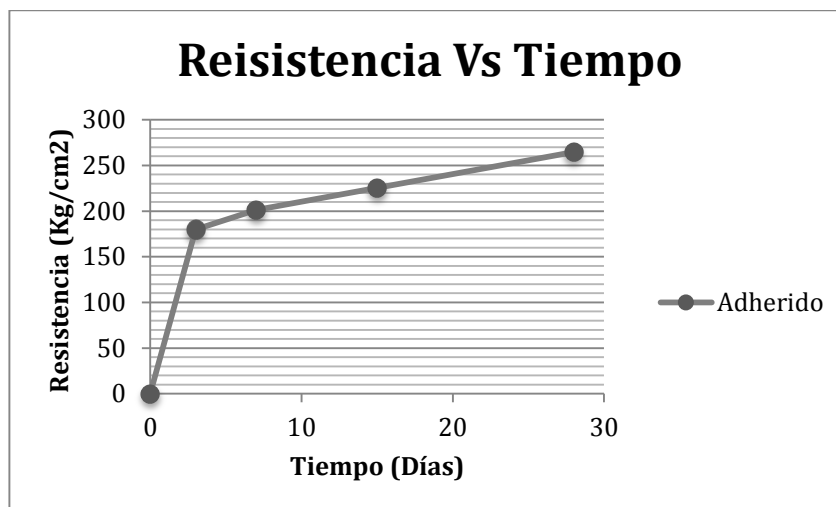


**TABLA R.4.13: Resistencias a compresión obtenidas de
“REFUERZO ADHERIDO EN LOSA DE PRUEBA”**

APLICACIÓN DE REFUERZO ADHERIDO TIPO 240 (Kg/cm ²)						
Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Lectura (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)	Proyección 28 días (kg/cm ²)
Testigo N1	23/10/14	07/11/14	15	188,96	245,43	283,97
Testigo N2	23/10/14	07/11/14	15	162,52	211,09	244,24
Testigo N3	23/10/14	07/11/14	15	164,48	213,64	247,18
Testigo N4	23/10/14	07/11/14	15	187,95	244,12	282,46
Testigo N5	23/10/14	07/11/14	15	192,46	249,98	289,23
Testigo N6	23/10/14	07/11/14	15	160,52	208,49	241,23

Resistencia Promedio (6 extracción) = 264,72 Kg/cm²

**GRÁFICA R.4.7: Curva de resistencia a compresión
H-TIPO 240(Kg/cm²)**

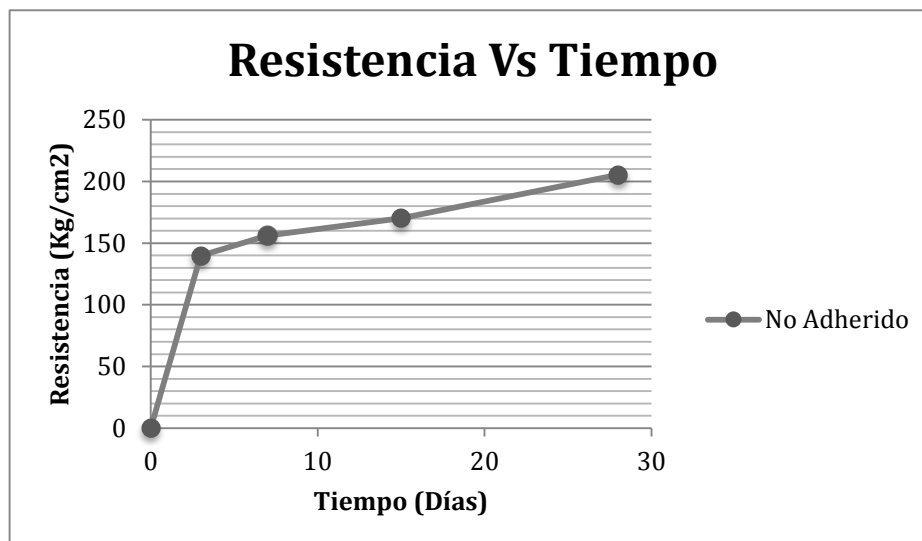


**TABLA R.4.14: Resistencias a compresión obtenidas de
“REFUERZO NO ADHERIDO EN LOSA DE PRUEBA”**

APLICACIÓN DE REFUERZO NO ADHERIDO TIPO 320 (Kg/cm ²)						
Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Lectura (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)	Proyección 28 días (kg/cm ²)
Testigo N1	23/10/14	07/11/14	15	138,58	180,00	208,26
Testigo N2	23/10/14	07/11/14	15	124,55	161,77	187,18
Testigo N3	23/10/14	07/11/14	15	130,41	169,39	195,98
Testigo N4	23/10/14	07/11/14	15	144,65	187,88	217,38
Testigo N5	23/10/14	07/11/14	15	149,50	194,18	224,67
Testigo N6	23/10/14	07/11/14	15	132,74	172,41	199,48

Resistencia Promedio (6 extracción) = 205,49 Kg/cm²

**GRÁFICA R.4.8: Curva de resistencia a compresión
H-TIPO 320(Kg/cm²)**

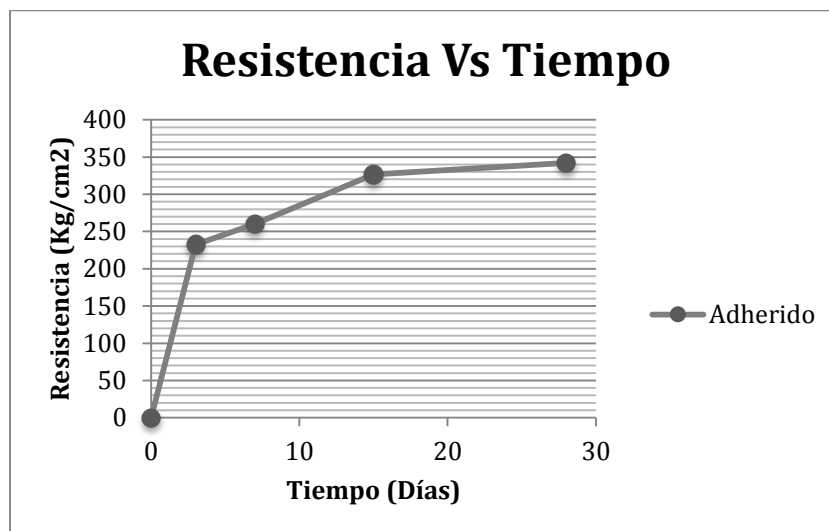


**TABLA R.4.15: Resistencias a compresión obtenidas de
“REFUERZO ADHERIDO EN LOSA DE PRUEBA ”**

APLICACIÓN DE REFUERZO ADHERIDO TIPO 320 (Kg/cm²)						
Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Lectura (KN)	Resistencia (Kg/cm²)	Proyección 28 días (kg/cm²)
Testigo N1	23/10/14	07/11/14	15	228,02	296,17	342,67
Testigo N2	23/10/14	07/11/14	15	222,04	288,40	333,69
Testigo N3	23/10/14	07/11/14	15	226,32	293,96	340,12
Testigo N4	23/10/14	07/11/14	15	218,12	283,31	327,80
Testigo N5	23/10/14	07/11/14	15	232,62	302,14	349,59
Testigo N6	23/10/14	07/11/14	15	238,97	310,39	359,13

Resistencia Promedio (6 extracción) = 342,16 Kg/cm²

**GRÁFICA R.4.9: Curva de resistencia a compresión
H-TIPO 320(Kg/cm²)**



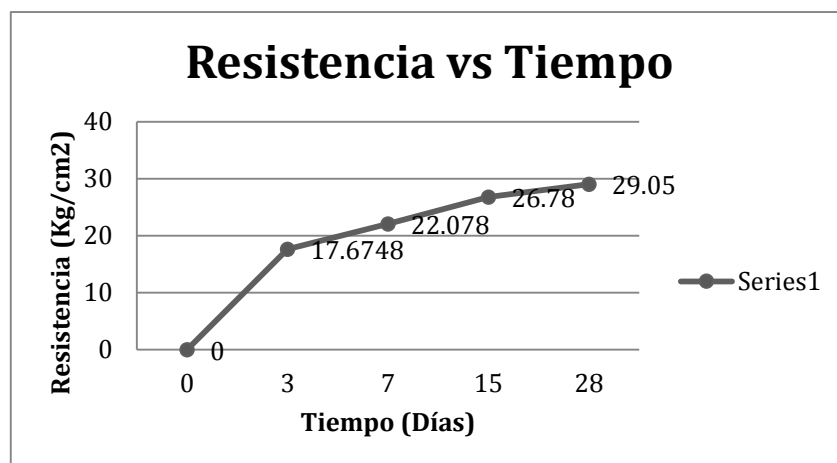
Las vigas convencionales en las cuáles se aplicaron el refuerzo en ambas condiciones y a diferente tipo de resistencia, se ensayaron a flexión dando como resultado los siguientes datos.

**TABLA R.4.16: Resistencias a flexión obtenidas de
“REFUERZO NO ADHERIDO EN VIGAS CONVENCIONALES”**

Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Lectura (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)	Proyección 28 días (kg/cm ²)
VIG N1	23/10/14	07/11/14	15	16,60	25,08	29,02
VIG N2	23/10/14	07/11/14	15	19,27	29,12	33,69
VIG N3	23/10/14	07/11/14	15	13,97	21,11	24,43

Resistencia Promedio (3 vigas) = 29,05 Kg/cm²

**GRÁFICA R.4.10: Curva de resistencia a flexión
H-TIPO 240(Kg/cm²)**

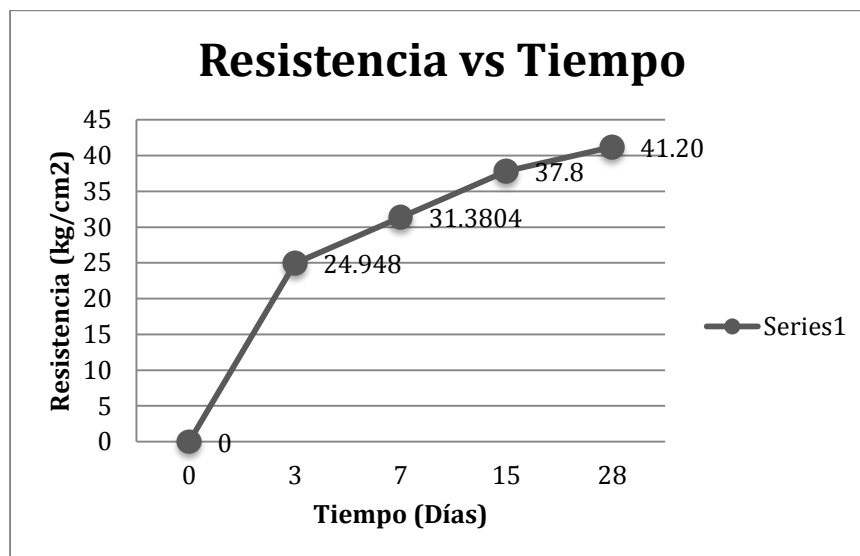


**TABLA R.4.17: Resistencias a flexión obtenidas de
“REFUERZO ADHERIDO EN VIGAS CONVENCIONALES”**

Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Lectura (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)	Proyección 28 días (kg/cm ²)
VIG N1	23/10/14	07/11/14	15	24,60	37,17	43,01
VIG N2	23/10/14	07/11/14	15	21,27	32,14	37,19
VIG N3	23/10/14	07/11/14	15	24,97	37,73	43,66

Resistencia Promedio (3 vigas) = 41,29 Kg/cm²

**GRÁFICA R.4.11: Curva de resistencia a flexión
H-TIPO 240(Kg/cm²)**

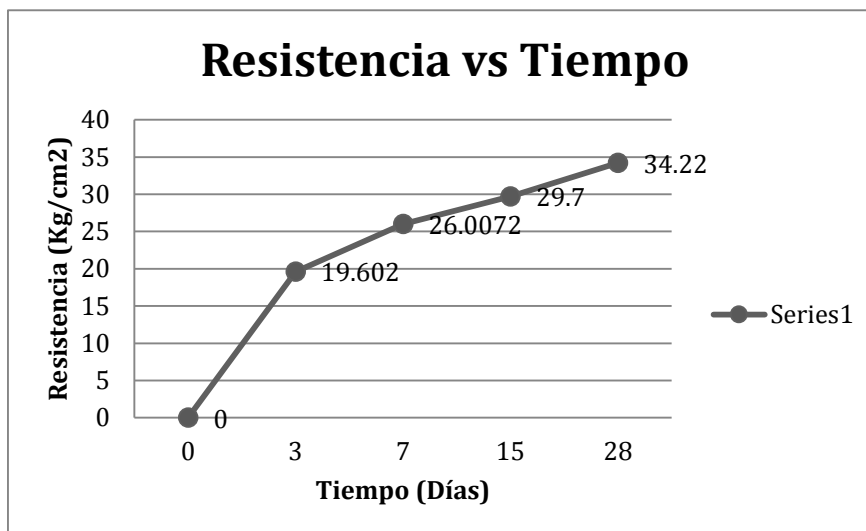


**TABLA R.4.18: Resistencias a flexión obtenidas de
“REFUERZO NO ADHERIDO EN VIGAS CONVENCIONALES”**

APLICACIÓN DE REFUERZO NO ADHERIDO TIPO 320 (Kg/cm ²)						
Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Lectura (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)	Proyección 28 días (kg/cm ²)
VIG N1	23/10/14	07/11/14	15	19,62	29,65	34,30
VIG N2	23/10/14	07/11/14	15	17,97	27,15	31,42
VIG N3	23/10/14	07/11/14	15	21,12	31,91	36,93

Resistencia Promedio (3 vigas) = 34,22 Kg/cm²

**GRÁFICA R.4.12: Curva de resistencia a flexión
H-TIPO 320(Kg/cm²)**



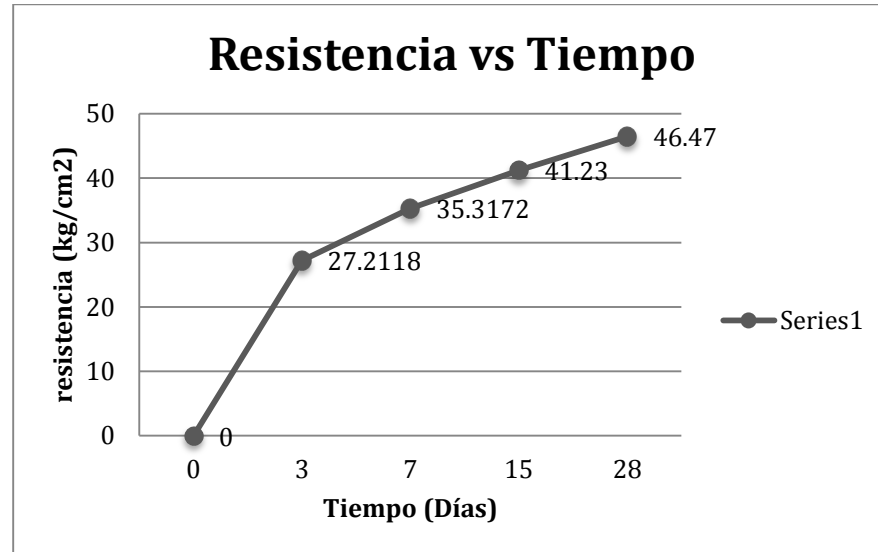
**TABLA R.4.18: Resistencias a flexión obtenidas de
“REFUERZO ADHERIDO EN VIGAS CONVENCIONALES”**

APLICACIÓN DE REFUERZO ADHERIDO TIPO 320 (Kg/cm²)

Identificación	Fecha de	Fecha de	Edad (días)	Lectura (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)	Proyección 28
	Vaciado	Rotura				días
(kg/cm ²)						
VIG N1	23/10/14	07/11/14	15	29,60	44,73	51,75
VIG N2	23/10/14	07/11/14	15	24,27	36,67	42,43
VIG N3	23/10/14	07/11/14	15	25,87	39,09	45,23

Resistencia Promedio (3 vigas) = 46,47 Kg/cm²

**GRÁFICA R.4.13: Curva de resistencia a flexión
H-TIPO 320(Kg/cm²)**



4.4.4. INVESTIGACIÓN EN LOSA DE PAVIMENTO REAL

4.4.4.1 Preparación de losa antigua

Una superficie limpia y en buen estado es esencial para obtener una adherencia correcta. Por ello en esta averiguación se hizo la re movición de 5cm para la aplicación del refuerzo adherido y de 6cm para el no adherido. Se eliminó de la misma las materias extrañas y las sustancias contaminantes (pinturas, caucho, hormigón suelto, etc)[IMG.19,20]. Los métodos recomendados son el fresado y/o el chorro de granalla o de arena, como no se contaba con ese equipamiento se utilizó combo y cincel, proporcionando una textura rugosa que es beneficiosa para la adherencia.



Limpieza y re movición de todo material que afecte con la aplicación de las condiciones de refuerzo a aplicarse.

4.4.4.2. Vaciado en condición adherida

Después de la remoción de parte de la superficie se realizó una limpieza de la misma, a fin de eliminar todo el polvo y los residuos antes de la extensión del refuerzo, por lo que el paso de vehículos sobre la superficie se evitó [IMG. 21]. La superficie se mantuvo siempre seca, sin que haya humedad o charcos de agua en la misma, posterior a esto se realizó el vaciado del refuerzo con un hormigón tipo de resistencia 320kg/cm².



IMG.21



IMG.22

Se aplico una lechado de cemento para garantizar una adherencia mas compacta aplicándola minutos antes de hacer el vaciado del refuerzo en condición adherida [IMG.22].



Vaciado del refuerzo en condición adherida

4.4.4.3. Vaciado en condición no adherida

Se preparó la superficie de las losas, aplicando la capa rompedora de adherencia mediante la interposición de una capa delgada de mezcla asfáltica para que el refuerzo y la losa del pavimento existente trabajen como dos capas independientes el proceso de esta aplicación se muestra [IMG. 23,24,25], posterior a esto si efectuó el vaciado del refuerzo con un hormigón tipo con resistencia de 320 kg/cm². [IMG. 26]



4.4.4.4. Extracción de núcleos

Se realizaron las extracciones de testigos o extracción de núcleo con el equipo denominado extractor a diamantina, proporcionado por el laboratorio de asfaltos de la U.A.J.M.S [IMG. 27,28]. De la losa de pavimento o losa real se extrajeron:

- Tres testigos del pavimento en condición actual.
- Tres testigos con aplicación de refuerzo en condición no adherida con dosificación de 320kg/cm²
- Tres testigos con aplicación de refuerzo en condición adherida con dosificación de 320kg/cm².



4.4.4.5. Rotura de núcleos

Las rupturas de núcleos se realizó en laboratorio con la máquina a compresión hidráulica[IMG.29], se ha efectuado el ensayo a compresión de 9 extracciones cilíndricas de 10 cm x 20 cm [IMG.30], con el fin de tener valores de referencia de la resistencia a compresión tanto de la losa en estado actual como del comportamiento ante un refuerzo en condiciones adherida y no adherida. las extracciones de losa real se ensayaron a la edad de 8 días aplicado el refuerzo. En las imágenes podemos apreciar dicho ensayo.



4.4.4.6. Resultados

Los resultados presentados en la tablas siguientes son de extracción de núcleo, que se efectuaron para conocer mediante ensayo a compresión el estado actual del pavimento existente.

TABLA R.4.19: Resistencias obtenidas a compresión de LOSA DE PAVIMENTO REAL

EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS EN LOSA DE PAVIMENTO					
Elemento	Identificación	Fecha de Rotura	Lectura (KN)	Carga (kg)	Resistencia (Kg/cm²)
Losa REAL	Testigo N1	07/11/14	75,40	7690,80	97,93
Losa REAL	Testigo N2	07/11/14	88,98	9075,96	115,57
Losa REAL	Testigo N3	07/11/14	82,24	8388,48	106,82

Resistencia Promedio (3 vigas) = 106,78 Kg/cm²

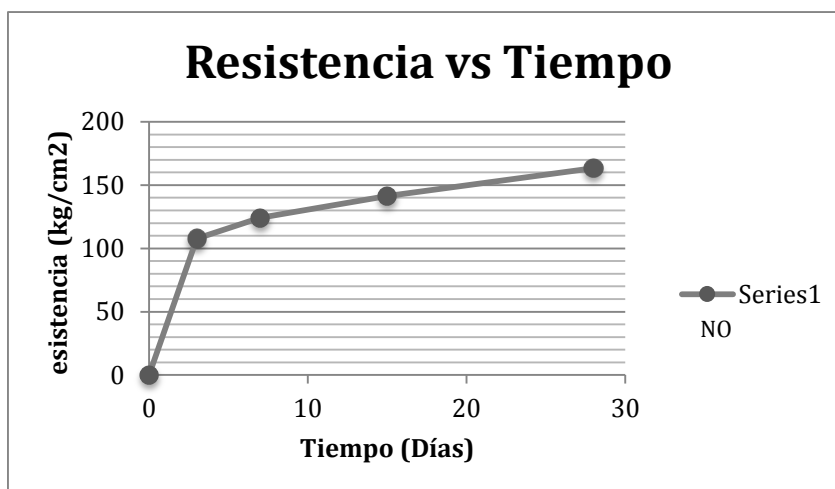
Los resultados presentados a continuación son de los núcleos extraídos de la losa del pavimento existente con la aplicación de los refuerzos en condición adherida y no adherida.

TABLA R.4.20: Resistencias a compresión obtenidas de “REFUERZO NO ADHERIDO EN LOSA DE PAVIMENTO REAL”

APLICACIÓN DE REFUERZO NO ADHERIDO TIPO 320 (Kg/cm²)						
Identificación	Fecha de Vaciado	Fecha de Rotura	Edad (días)	Lectura (KN)	Resistencia (Kg/cm²)	Proyección 28 días (kg/cm²)
Testigo N1	30/10/14	07/11/14	8	98,65	128,13	172,49
Testigo N2	30/10/14	07/11/14	8	94,70	123,00	165,58
Testigo N3	30/10/14	07/11/14	8	86,98	112,98	152,08

Resistencia Promedio (3 vigas) = 163,38 Kg/cm²

**GRÁFICA R.4.13: Curva de resistencia a compresión
H-TIPO 320(Kg/cm²)**



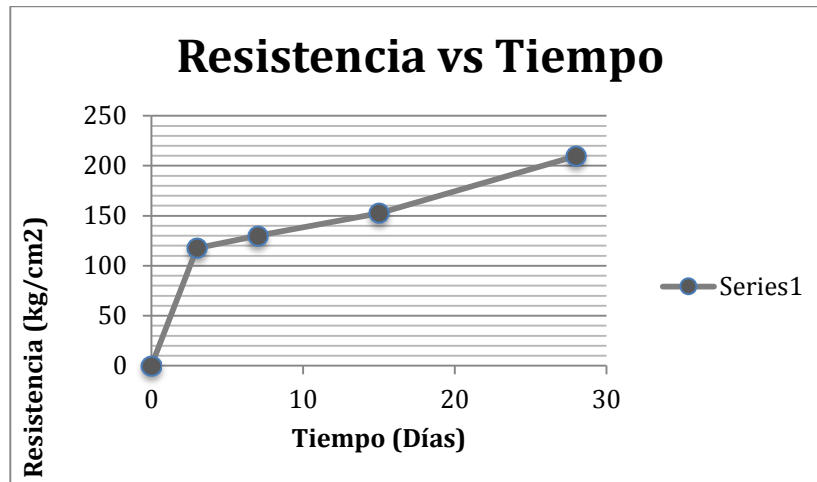
**TABLA R.4.21: Resistencias a compresión obtenidas de
“REFUERZO ADHERIDO EN LOSA DE PAVIMENTO REAL”**

APLICACIÓN DE REFUERZO ADHERIDO TIPO 320 (Kg/cm²)

Identificación	Fecha de	Fecha de	Edad (días)	Lectur (KN)	Resistencia (Kg/cm ²)	Proyección 28 dias (kg/cm ²)
	Vaciado	Rotura				
Testigo N1	30/10/14	07/11/14	8	117,02	151,99	204,61
Testigo N2	30/10/14	07/11/14	8	113,04	146,82	197,65
Testigo N3	30/10/14	07/11/14	8	129,92	168,75	227,16

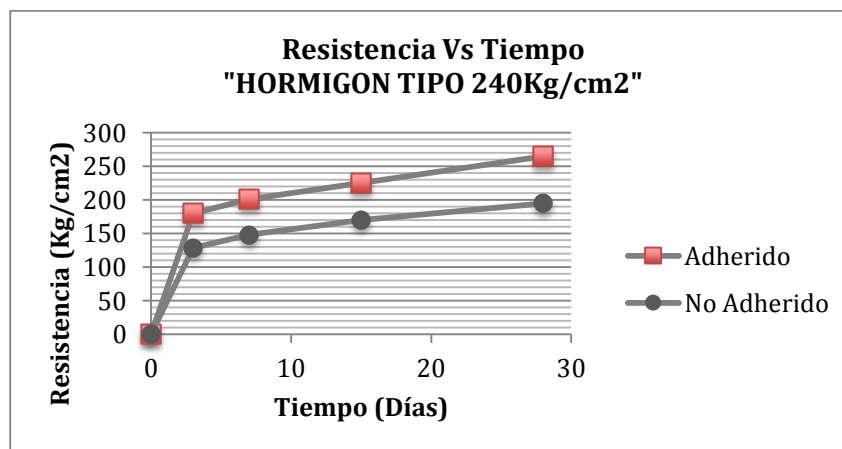
Resistencia Promedio (3 vigas) = 209,81,15 Kg/cm²

**GRÁFICA R.4.14: Curva de resistencia a compresión
H-TIPO 320(Kg/cm²)**



4.5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

**GRÁFICA R.4.15: Resistencias de
“REFUERZO ADHERIDO Y NO ADHERIDO EN LOSA DE PRUEBA”**

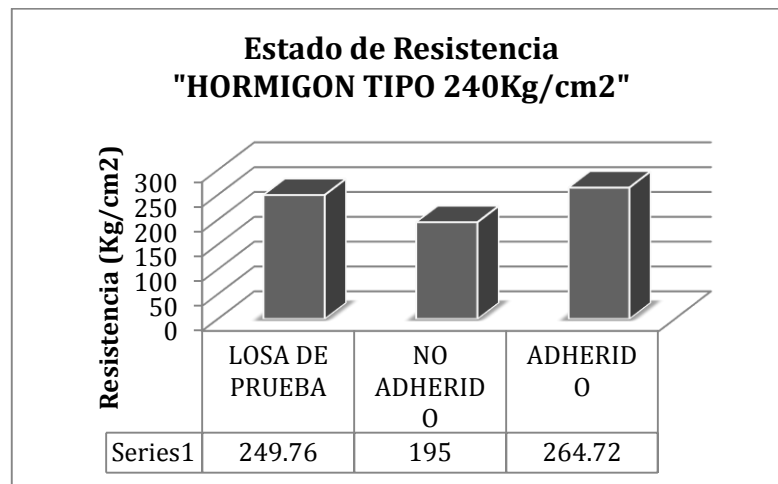


Los resultados que se obtuvieron en la investigación finalmente nos proporcionan la relación de comportamiento que tienen los refuerzos de hormigón en condición adherido y no adherido, cuya tendencia en los primeros días en cuanto a la

resistencia es de poca diferencia, sin embargo a medida que se tiene mayor tiempo de curado ambos hormigones adquieren una diferencia de hasta un 27% manteniendo esta diferencia de porcentaje a través del tiempo. Se tiene una resistencia en adherido a los 28 días de 264,72 Kg/cm² y en condición no adherida de 195,00 Kg/cm².

Lo que nos permite comprobar la hipótesis que en condición adherida las resistencias que se obtienen son mejores, demostrando que la teoría de que los hormigones no adheridos al tener una capa de interface que evita el contacto entre capa antigua y nueva evita que el conjunto actúe como un solo elemento que resista ante los esfuerzos que se presente, siendo este el comportamiento ideal que las capas tanto nueva como antigua actúen de manera independiente, con relación a la resistencia los valores son no los esperados, ya que esta debería de sobrepasar la resistencia tipo

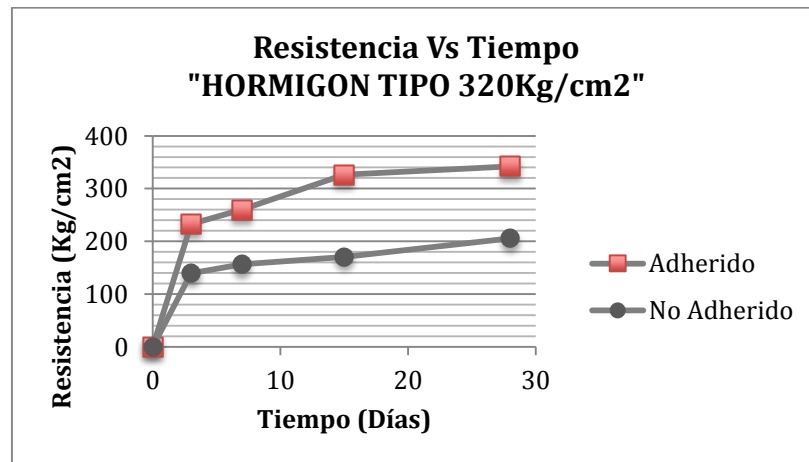
GRÁFICA R.4.16: Estado final de resistencia
“REFUERZO ADHERIDO Y NO ADHERIDO EN LOSA DE PRUEBA”



Al analizar el comportamiento de hormigón adherido y no adherido sobre una losa de prueba podemos comprobar que se tiene mejores condiciones de resistencia en la condición adherida como se esperaba, es decir, que no solo en el laboratorio las condiciones del hormigón adherido son satisfactorias sino también en plataforma

como veremos mas adelante, por lo que podemos aseverar que la diferencia de resistencia entre adherido y no adherido puede alcanzar hasta un 27%, cuya resistencia de 264,72 Kg/cm² es una resistencia satisfactoria para la condición de refuerzo adherido, sobrepasando la resistencia tipo de 240Kg/cm² con un 11%, esto nos asevera que mejora las condiciones actuales de la losa de prueba como se puede observar [GRÁFICA R.4.16] hay un incremento notable en la resistencia a compresión con un resultado de 15,21 Kg/cm², son resultados satisfactorio ya que se cumplió con los requerimientos de aplicación de la sobre capa de refuerzo en condición adherida al igual en la condición no adherida, en este caso agentes fuera de nuestro alcance hicieron que los resultados dieran por debajo de lo esperado, pero se debe considerar que el hormigón continúa el crecimiento de su resistencia hasta alcanzar porcentajes entre el 20 y 40% a los 56 días.

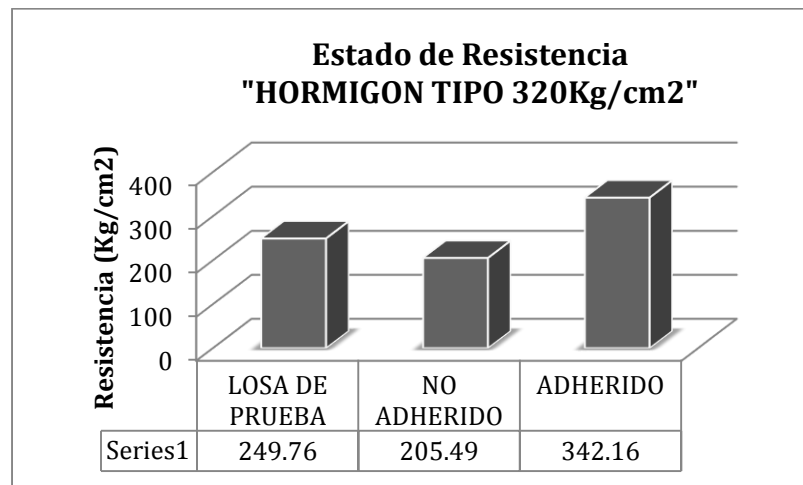
**GRÁFICA R.4.17: Resistencias de
“REFUERZO ADHERIDO Y NO ADHERIDO EN LOSA DE PRUEBA”**



En el caso de la dosificación del hormigón tipo 320 kg/cm² para los refuerzo en ambas condiciones se realizó la aplicación dando como resultados las tendencias de las curvas de resistencia en función del tiempo tanto para la prueba adherida como para la no adherida, como se muestra en [GRAFICA R.4.17]. Podemos observa que la condición no adherida esta por debajo de la resistencia actual de la losa de prueba

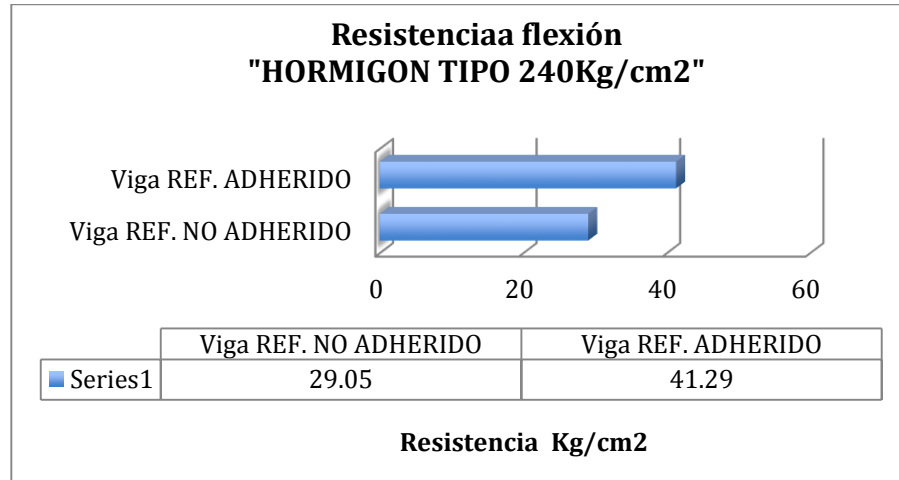
cual varía en comparación en un 17% presentando una diferencia en las resistencias de alrededor del 43 kg/cm².

GRÁFICA R.4.18: Estado final de resistencia
“REFUERZO ADHERIDO Y NO ADHERIDO EN LOSA DE PRUEBA”



Para la investigación realizada en condición adherida, nos muestra las graficas que el comportamiento monolítico del refuerzo y la losa de prueba que satisfactoriamente eleva su resistencia a compresión un 37% en 28 días presentando una diferencia de 92,4 kg/cm² por encima de la resistencia actual que presenta la losa de prueba

**GRÁFICA R.4.19: Resistencia “REFUERZO ADHERIDO Y NO ADHERIDO
EN VIGAS CONVENCIONALES”**



Se realizaron los ensayos de resistencia a flexión de las muestras tomadas del concreto de la losa de prueba con más la aplicación del refuerzo en ambas condiciones adherida y no adherida. Las dimensiones de las vigas son 0.15 m x 0.15 m x 0.53 m [IMG.31]

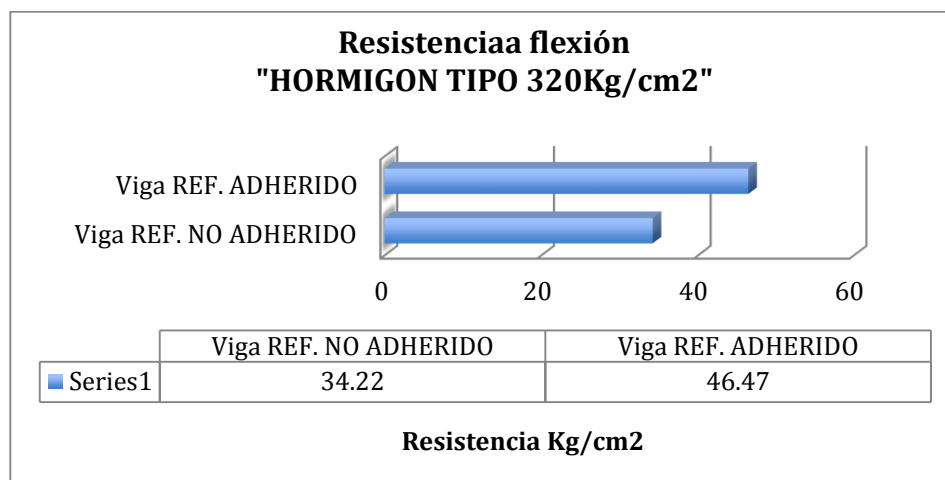


Rotura a flexión de concreto con aplicación de refuerzo en condición adherida.

Los datos arrojados por las pruebas en laboratorio para la flexión con aplicación de refuerzo adherido y no adherido [GRAFICA R.4.19], no se destacan por mantenerse: El adherido por debajo con 8,24% (3,71 Kg/cm²) y el no adherido 35% (15,95Kg/cm²), del modulo de rotura (M.R. = 45Kg/cm²). Mientras que las muestras de concreto con aplicación de refuerzo con hormigón tipo de 320Kg/cm² [GRAFICA R.4.20], superan la resistencia de módulo de rotura fijado para este tipo de hormigón. Hubo un mejor comportamiento en las roturas de las vigas con la aplicación de este

tipo de resistencia, teniendo como resultados desfavorables en condición no adherida 34,22 Kg/cm² estando por debajo con un 23% (10,78Kg/cm²), mientras que el refuerzo en condición adherida supero el MR en un 4% (1,47Kg/cm²).

GRÁFICA R.4.20: Resistencia “REFUERZO ADHERIDO Y NO ADHERIDO EN VIGAS CONVENCIONALES”



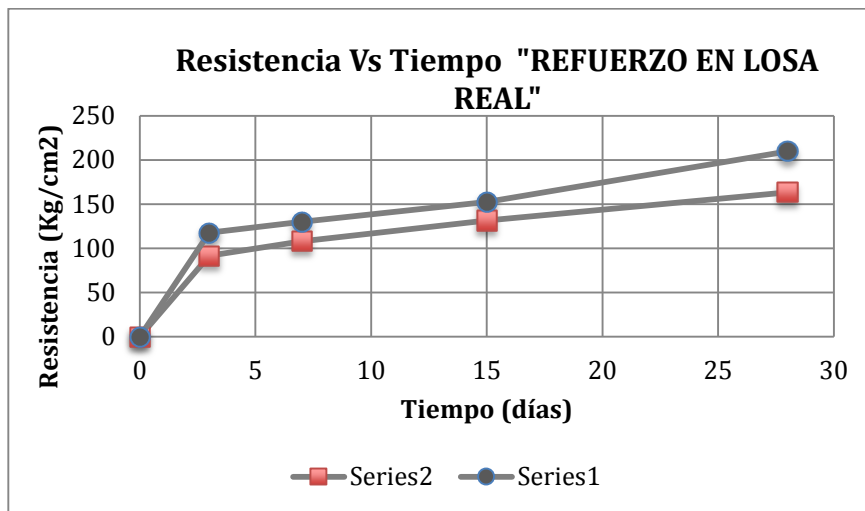
Las vigas ensayadas en su totalidad fallaron en el tercio medio como las vigas de concreto convencional, las vigas con refuerzo en condición adherida tuvieron un desempeño favorable mientras que en condición no adherida se observó, que las resistencia a flexión se encuentra por debajo del MR de diseño, debido a la capa de interface rompedora de adherencia, se pudo comprobar que efectivamente el refuerzo y la losa de pavimento existente trabajan de manera independiente ya que en los ensayos a flexión rompe primero el refuerzo y luego la losa de pavimento al igual que en los ensayos a compresión COMO SE PUEDE OBSERVAR [IMG.32].



De la misma manera que en las muestras para los ensayos a compresión, las

vigas para la flexión con aplicación de refuerzo en condición adherida, son los que poseen mejor comportamiento mecánico.

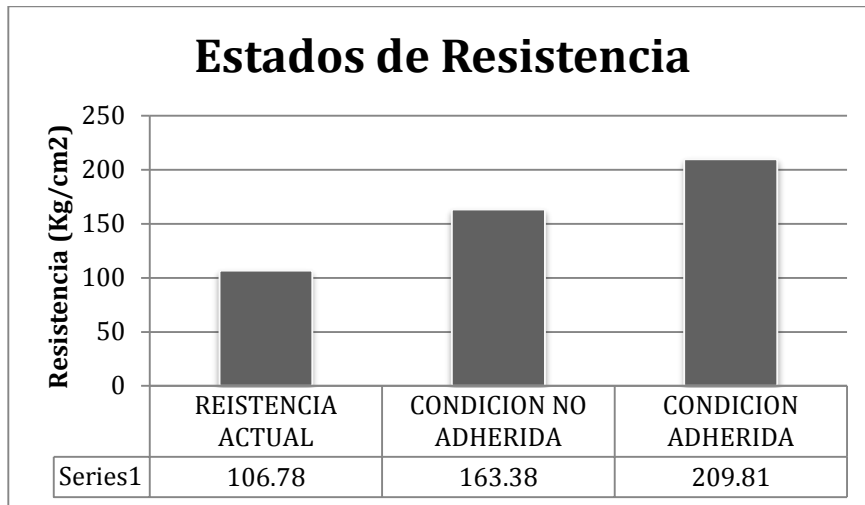
GRÁFICA R.4.21: Resistencias de “REFUERZO ADHERIDO Y NO ADHERIDO EN LOSA DE PAVIMENTO REAL”



En la [GRÁFICA R.4.21] se presenta la tendencia de las curvas de resistencia en función del tiempo de la aplicación de los refuerzo en losa de pavimento real, se observa que adquieren una diferencia de hasta un 40% manteniendo esta diferencia de porcentaje a través del tiempo. Se tiene una resistencia en adherido a los 28 días de 209,81 Kg/cm² y en condición no adherida de 163,38 Kg/cm².

En la [GRAFICA R.4.22] podemos observar los resultados en la aplicación de los refuerzos adherido y no adheridos sobre una losa de pavimento real, al presentar el pavimento condición de deterioro verídicos podemos ver de forma mas clara el comportamiento de estas condiciones de refuerzo, de los cuales podemos tomar como parámetro para las conclusiones de esta investigación.

GRÁFICA R.4.22: Estado final de resistencia “REFUERZO ADHERIDO Y NO ADHERIDO EN LOSA DE PAVIMENTO REAL”



Como se puede apreciar en la gráfica R.4.22, la losa de pavimento real presenta una resistencia actual de 106,78Kg/cm², esta resistencia se considera baja, se debe a su prestación de servicio durante varios años en la ciudad de Tarija, pavimento ubicado en la zona el tejear, (Av. Las Américas entre-. Av. España y C. María Clerete) en el cual al ser aplicada una carpeta de hormigón en condición no adherida incrementa notablemente su resistencia actual en 53%, quedando con una resistencia final con refuerzo en condición no adherida de 163,38Kg/cm²

De igual manera la condición adherida presenta resultados satisfactorios con un incremento notable en la resistencia de 103,03Kg/cm² equivalente a un 93%. Teniendo como resultado final una vez aplicado la carpeta de hormigón en condición adherida de 209,81Kg/cm².

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

De lo expuesto en el presente trabajo, consideramos un aporte muy importante el de haber enlazado aspectos y definiciones diversas, resumiendo de la bibliografía consultada lo más sobresaliente, relacionado a los refuerzos de hormigón en condición adherida y no adherida sobre pavimento de hormigón existente, para poder investigar sobre sus condiciones y comportamientos. De esta manera se llegó a las siguientes deducciones.

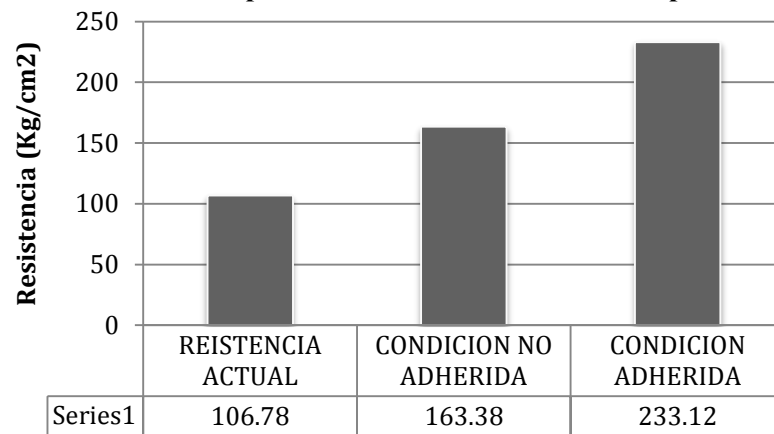
- Lo alcanzado en la presente investigación se basaron en un análisis experimental, que inicio con la elaboración de losas de prueba (simulación de losa de pavimento), siguiendo los procesos especificados en las normas ACI 211.1, para luego variar las relaciones agua/cemento las cuáles nos dan dos resistencias tipos 240 y 320Kg/cm², para la aplicación del los refuerzos adherido y no adherido tanto en laboratorio como en losa de pavimento real. La elaboración de las muestras de hormigón adherido y no adherido han sido con los mismos materiales para el hormigón en lo que se refiere a grava, arena y cemento que previo al vaciado se realizaron los ensayos de caracterización, cumpliendo con los requisitos de norma para la aplicación en los tipos de hormigón.
- Los núcleos que se han extraído para el análisis del comportamiento en adherido y no adherido han sido de una altura de 20 cm en general, para evitar el efecto de espesor sobre relación de esfuerzo de esta manera obtener resultados los más precisos sin alteraciones.



- los valores obtenidos en condición adherida para los diferentes tipos de análisis han dado como resultado mas significativo el caso del hormigón tipo 320 kg/cm². Los valores obtenidos en condición no adherida para los diferentes tipos de análisis fueron los valores más desfavorables las de esta condición.
- De los resultados obtenidos se llega a la conclusión de que el comportamiento del refuerzo no adherido se debe a la capa rompedora de adherencia, la cual hace que todos los esfuerzo transmitidos directamente repercutan en el refuerzo como capa independiente y como la losa presenta una resistencia elevada y debido al poco espesar del refuerzo como capa independiente este rompe primero. Como lo reflejó los resultados de compresión. Se recuerda que esta condición esta dirigida su aplicación a firmes con deterioros ceberos. De igual manera se obtuvieron los resultados de la aplicación de la condición del refuerzo adherido, siendo los resultados favorables como lo afirmaba la teoría que su aplicación aun que este esta dirigido a firmes en buen estado se aplica a cualquier firme en deterioro, esta condición en la losa de prueba incremento notablemente su resistencia.
- La resistencia obtenida en la losa de estudio real nos da un promedio de resistencia de 106,78 Kg/cm², considerando a esta como una resistencia baja esto se debe a la vida de servicio que esto durante años a la ciudad de Tarija, aplicando los refuerzos en ambas condiciones se llega a la conclusión de que

los refuerzos tanto adherido como no adherido tienen un comportamiento diferente ante el conjunto con un pavimento que presenta deterioros reales por su prestación de servicio, ya que se noto claramente el incremento de resistencia una vez aplicados las sobre-capa de refuerzo en ambas condiciones como se observa en la [GRÁFICA 5.1].

GRÁFICA 5.1. Comparación de resistencia de losa de pavimento



- La constante entre condición adherida y no adherida es que existe una variación incremental que no siempre se puede verificar sobre losas cuya vida de servicio sea alta como se pudo observar en la losa de prueba, pueden darse valores muy bajos en condición no adherida ya que estos se reflejan de manera optima cuando el pavimento presenta desperfecto mas considerables.
- Esto nos lleva a considerar que estos refuerzos en condición adherida y no adherida son aplicables para nuestro medio, siendo una alternativa favorable ya que incrementa de manera abrupta la resistencia en los pavimento de baja capacidad o que ya hayan cumplido con su prestación de servicio, siendo una buena solución para la rehabilitación de los pavimentos rígidos existentes, cabe recalcar que al aplicar este tipo de refuerzo la estructura en conjunto con el pavimento existente presenta vida residual.

5.2. Recomendaciones

Habiendo desarrollado la presente investigación con la finalidad de contribuir al implemento de nuevas técnicas de rehabilitación de pavimentos en deterioro, se ve la necesidad de plantear las siguientes recomendaciones.

- Para la fabricación del hormigón del refuerzo se recomienda que los áridos gruesos sea de forma angular y que presente la menor cantidad de partículas alargadas y limos, es muy importante que los agregado estén secos para la fabricación del hormigón y determinar el agua de absorción de los mismos, con lo cual se garantiza que los agregados no absorban el agua de amasado afectando la consistencia de la mezcla.
- Se encomienda que el procedimiento en obra, para la colocación de un refuerzo de hormigón en condición adherida y no adherida, la capa inferior a rehabilitarse no debe presentar partículas sueltas o finas que impidan garantizar una buena adherencia con el nuevo hormigón de refuerzo, esto en el caso del refuerzo en condición adherida.
- Cuando se proyecte rehabilitaciones de pavimento cuya vida útil ya haya sido cumplida, se aconseja que se tome en cuenta las opciones de aplicación de refuerzo en condición adherida.
- Cuando se realicen investigaciones en laboratorio para su posterior aplicación en proyecto real de rehabilitación de pavimento, se sugiere que los procesos sean los mas semejantes posibles a la realidad en obra, para que los resultados obtenidos en laboratorio se puedan evidenciar en obra respectivamente.