

UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCION REY BALDUINO DE BELGICA
CONCEPCION

**EVALUACION DE UNA SOLUCION DE MANTENCION EN
PAVIMENTOS DE HORMIGON CON HORMIGONES DE CURADO
ULTRA RAPIDO**

ENMANUEL DARIO TRONCOSO MARTÍNEZ

2022

**UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA
SEDE CONCEPCION
“REY BALDUINO DE BELGICA”**

**EVALUACION DE UNA SOLUCION DE MANTENCION EN PAVIMENTOS
DE HORMIGON CON HORMIGONES DE CURADO ULTRA RAPIDO**

**TRABAJO PARA OPTAR AL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CONSTRUCTOR**

Alumno: Enmanuel Dario Troncoso Martínez

Profesor Guía: Sr. Marco Pardo Rojas

2022

DEDICATORIA

A Dios por darme la sabiduría, darme la vida y la fuerza para seguir luchando día a día ya que solo él sabe las batallas internas que tengo en mi cabeza y corazón.

Dar gracias a mis Padres (mami y papi), hermanos y familia por siempre confiar en mí. Por su constante apoyo, por cada llamado de atención para que termine este último proceso para poder ser un profesional.

A Don Marcos Pardo Rojas, por el apoyo, confianza y paciencia que tubo al tomarme como alumno memorista, gracias por enseñarme a ser un gran profesional.

A Don Rubén Alvares, Boris Barra, Cesar Celis por permitir realizar mi análisis en el laboratorio de la constructora, gracias por su constante ayuda, consejos y enseñanzas que me brindaron durante el proceso.

Don Leo y Jorge que me motivaron a terminar el proceso, espero llegar a ser un gran profesional como ustedes algún día Gracias.

RESUMEN

El hormigón es un material de construcción utilizado desde el inicio de los tiempos, algunas de las primeras civilizaciones como los sumerios, babilónicos, egipcios y romanos, entre otras requirieron crear una pasta con capacidad de unir piedras, para construir viviendas más estables y duraderas. En Chile y en mundo entero, se innova constantemente en la construcción día a día requiere nuevos materiales capaces de cumplir con requisitos cada vez más exigentes, teniendo en cuenta siempre la calidad, valor y rapidez de ejecución.

El principal objetivo de esta investigación es analizar el comportamiento estructural a la flexotracción, comparando un hormigón fast-track, que trae incorporado en su dosificación un cemento portland de alta resistencia, este hormigón es uno de los mejores que se encuentra en el mercado ya que alcanza su máxima resistencia en 24 horas. La dosificación de este hormigón la mantendré y cambiare uno de sus materiales por el cemento con aluminato, realizando ensayos en distintos horarios para comparar resultados así poder evaluar la mejor dosificación posible.

INDICE

METODOLOGIA DE TRABAJO	7
MARCO NORMATIVO	8
INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS	10
Objetivo Principal	10
Objetivos Específicos	10
FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
MARCO TEÓRICO	13
Historia de las carreteras en el mundo:	13
Tipos de Pavimentos:	14
• Pavimentos flexibles:	15
• Pavimentos Rígidos:	16
Composición estructural de un pavimento rígido:	17
• Composición de pavimento rígido:	19
Hormigón, descripción y características:	20
• Clasificación del Hormigón	22
• Clasificación por resistencia a la flexotracción:	23
Materiales empleados en la elaboración de hormigones:	24
• Hormigón:	24
• Cemento:	24
• Tipos de cemento:	25
• Áridos:	25
• Agua:	27
• Aditivos:	27
• Adiciones:	29
Capítulo 1: Tipos de Fallas en pavimentos rígidos y técnicas de reparación...	30
1.1 Técnicas de conservación y rehabilitación en pavimentos rígidos:	31
• Sellado de juntas y grietas:	31
• Reparación de espesor parcial:	32

• Reparación en todo el espesor:	34
• Colocación de barras (Reposición de transferencia de cargas):	37
1.2 Tipos de deterioros:	38
• Juntas y deficiencias en sellados:.....	38
• Juntas y Grietas saltadas:	41
• Separación de la junta longitudinal:	43
1.3 Fisuras y grietas:.....	45
• Fisuras y grietas de esquina:.....	45
• Fisuras y grietas longitudinales:.....	47
• Fisuras y grietas transversales:	49
• Fisuramiento por retracción:.....	51
1.4 Baches:	55
1.5 Levantamiento localizado:.....	57
1.6 Fragmentación múltiple:	58
Capítulo 2: Evaluación y ensayos de materiales para confeccionar las probetas de hormigón con CAC.	62
2.1 Granulometría:	63
2.2 Confección de probetas:	69
2.3 Dosificación de hormigón por método Faury – Joisel:.....	70
2.4 Ensayos:	87
2.5 Análisis de Ensayos:.....	89
2.6 Gráficos comparativos:	92
2.7 Análisis de resultados:	97
Capítulo 3: Analizar el costo del proceso de elaboración de los tipos hormigón.....	99
• Análisis económico CAC.....	100
• Análisis económico Cemento Portland.....	101
CONCLUSIÓN.....	102
BIBLIOGRAFIA.....	103

METODOLOGIA DE TRABAJO

1. Analizar la Normativa de Hormigones y se estudiara las características de los hormigones que se utilizan en pavimentos.
2. Se obtendrán los áridos de la planta de hormigones.
3. Se realizará un análisis de los materiales para confección de hormigón.
4. Diseño de dosificación.
5. Se realizarán los ensayos comparativos a las, 2, 4, 6 y 8 horas. De madures respectiva.
6. Análisis del hormigón fresco.
7. Se realizarán probetas con distintas dosificaciones de CAC, manteniendo la dosificación de los áridos.
8. Análisis y comparación de los resultados obtenidos.
9. Desarrollo de evaluación económica.
10. Conclusión.

MARCO NORMATIVO

1. NCh170 of2016, Hormigón y requisitos generales.
2. NCh1018 of2009, Hormigón, preparación de mezclas para ensayos en laboratorio.
3. NCh 1019 of2009, Hormigón, determinación de la docilidad- Método del asentamiento del cono de Abrams.
4. NCh 1037, Hormigón- Ensayo de compresión de probetas cubicas y cilíndricas.
5. NCh 1116 of 2008, Áridos para Morteros y Hormigones, determinación de la de la densidad aparente.
6. NCh 165 of 77: Áridos para morteros y hormigones- tamizado y determinación de granulometría.
7. NCh 163 of 79, Áridos para mortero y hormigones requisitos generales.
8. NCh 1498, Agua de curado para el amasado.

INTRODUCCIÓN

En Chile y el mundo entero, la construcción es un tema importante a considerar, constantemente se está innovando y cada vez se requiere de nuevos materiales capaces de soportar las exigencias que se solicitan, teniendo en cuenta siempre la calidad, valor y rapidez de ejecución.

Las carreteras de alto tráfico en Chile en su gran mayoría son de pavimentos rígidos, y al momento de que estas vías sufren deterioro en su estructura, es necesario realizarles mantenciones y esto provoca grandes atochamientos o más conocidos como tacos, para estos se ocupan hormigones fast-track que son de fraguado rápido, por eso en este trabajo de investigación buscaremos una alternativa para reducir el tiempo de la puesta en servicios de estas vías.

OBJETIVOS

Objetivo Principal

Evaluar una alternativa de reparación en pavimentos de hormigón utilizando hormigones de fraguado ultra rápido.

Objetivos Específicos

1. Definir fallas típicas en pavimentos de hormigones y sus técnicas de reparación.
2. Realizar un análisis técnico de la solución de hormigón de curado ultra rápido.
3. Analizar el costo del proceso de elaboración de los tipos hormigón.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Sin duda el hormigón es considerado uno de los materiales de construcción más importantes que existe hoy en día, de hecho, es uno de los materiales más modernos, pues sus inicios se remontan al siglo XIX, fue en el año 1824 que el Británico Joseph Aspdin lo patentó. Antiguamente predominaba como material el acero y parecía impensable que el hormigón supusiera una competencia para este, no obstante, ambos se aliaron y surgió el hormigón armado, uno de los materiales más exitosos que existe en el mundo de la construcción, ya que ambos aportan ventajas al momento de trabajar juntos, pues el hormigón protege al acero de la corrosión mientras que el acero aporta la resistencia a tracción.

Según la revista Beauchef magazine de ingeniería y ciencias de la Universidad de Chile (2013) hoy en día el hormigón es considerado uno de los materiales más utilizados, cubriendo el 80% de las construcciones, de igual manera un estudio realizado por el Instituto Nacional de Estadística (INE) en conjunto con la Cámara Chilena de la Construcción (CCHC), reveló que el despacho de hormigón realizado por plantas de hormigón del país ese mismo año fue de aproximadamente 6 millones de metros cúbicos, cifra que se ha mantenido hasta estos días, debido a su gran demanda es que se realizan o confeccionan distintos tipos de hormigón en base a las características de cada proyecto, lo que hace primordial el conocer bien este material, sus características y propiedades. (Universidad de Chile, 2013)

Es fundamental señalar que el proceso común de elaboración del hormigón se realiza empleando cemento, agua, áridos (gruesos y finos) y eventualmente aditivos o adiciones si es que así lo requiere la mezcla, en proporciones adecuadas para que esta obtenga la resistencia necesaria. El hormigón tiene variadas propiedades, las cuales van a depender en gran medida de las proporciones y calidad de los componentes que se utilicen para realizar la mezcla.

El hormigón al estar conformado por los materiales anteriormente mencionados no está exento de sufrir daños tanto estructurales como estéticos.

En numerosos casos las carreteras se presentan daños debido a la carga de tráfico que soportan. Nos encontramos así, con que muchas calzadas no aguantan los continuos esfuerzos a los que están constantemente sometidos. Esto hace que las vías no lleguen a alcanzar la vida útil que se les había previsto o calculado desde un principio.

MARCO TEÓRICO

Historia de las carreteras en el mundo: (Escario)

Hacia el 300 A.C., los romanos fueron los primeros en construir carreteras de forma científica. Su técnica fue tan elaborada que persistiría a lo largo de 2000 años. La conexión de las calzadas romanas con la Ruta de la seda, dará lugar a la más larga del durante 2000 años, que partía de Cádiz y terminaba en Shanghái eran cerca de 12800 km. En la cumbre de su poder, el imperio romano tenía un sistema de carreteras de unos 80.000 km, consistente en 29 calzadas que partían en la ciudad de roma, y una red que cubría todas las provincias conquistadas importantes. Las calzadas romanas estaban construidas por un sistema de capas que tenían un espesor entre todas entre 90 a 120 centímetros y estaban compuestas por tres capas de piedras, cada capa de material es más fina que la anterior, posterior lleva una capa de piedras encajadas en la parte superior.

Durante los siglos XV Y XVI, se comenzaron a pavimentar las calles, ya que aumento el interés por el desarrollo de carreteras (especialmente en Francia), y apareció la primera carretera con peaje en Inglaterra.

La técnica moderna de construcción de carreteras comenzó entre los siglos XVIII y XIX.

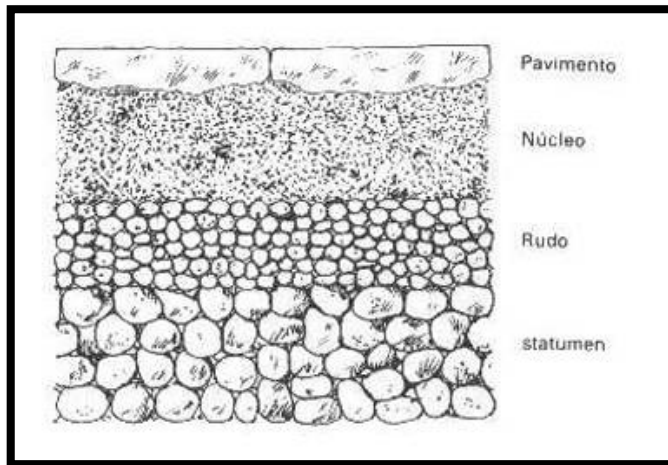


Imagen 1: Referencia de Carreteras romas

Fuente: <https://www.webdianoia.com/archivos/colab/vias.pdf>

Tipos de Pavimentos:

El pavimento es un sistema estructural formado por una capa o más capas de materiales seleccionados, estabilizados, o tratados, que se colocan sobre la subrasante, con el propósito de resistir las cargas impuestas por el tránsito de vehículos, en condiciones de comodidad y seguridad aceptables durante su periodo de diseño, y protegerlas de la acción de las condiciones ambientales. Las carreteras se clasifican de igual forma, del material que están construidas:

- **Pavimentos flexibles:**

Pavimento formado por una o varias capas asfálticas o materiales seleccionados tratados, de módulos elásticos decrecientes con la profundidad. Normalmente la capa de rodadura corresponde a una mezcla asfáltica o a una capa asfálticas de protección y las capas profundas, a materiales granulares del tipo base y subbase. En este caso, las cargas de rueda son resistidas principalmente por la capacidad del sistema de absorber deformaciones, que le es conferida por las características de sus capas constitutivas y del suelo de fundación.

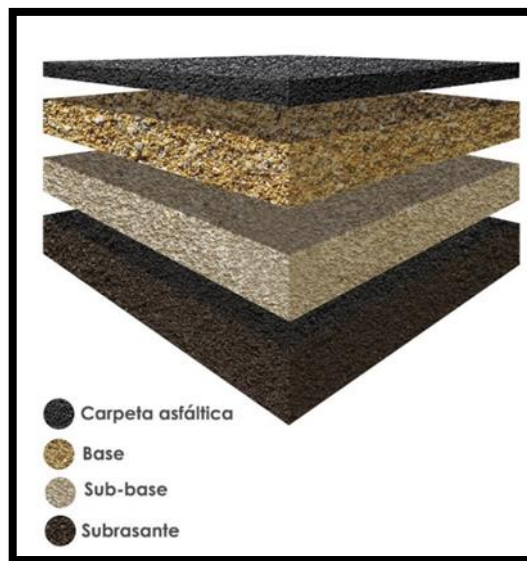


Imagen 2: Estructura de Pavimento Flexible

Fuente: Luis Loria

- **Pavimentos Rígidos:**

Pavimento formado por una o más capas de rodadura de alta rigidez y por una base de apoyo material seleccionado o tratado. Esta última se puede omitir si el material de fundación es apropiado. Normalmente está constituido por losas de hormigón de cemento hidráulico, simple o reforzado, colocadas sobre una subbase de agregado granular. Debido a la rigidez del sistema, las cargas de rueda son soportadas principalmente por la resistencia a la flexión de las losas de hormigón, disipándose ampliamente su efecto en el suelo bajo la subrasante.

La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcionada por losas de hormigón hidráulico, las cuales distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe. Por su rigidez distribuyen las cargas verticales sobre un área grande y con presiones reducidas. Salvo en los bordes de losa y juntas sin barras de traspaso de carga, las deflexiones o deformaciones elásticas son casi inapreciables. Este tipo de pavimentos no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente la falla estructural. Este punto de vista es el que influye en los sistemas de cálculos de pavimentos rígidos, sistemas que combinan el espesor y la resistencia de hormigón de las losas, para una carga y suelos dados. Aunque en teoría la losa de hormigón hidráulico puede colocarse en forma directa sobre la base, es necesario construir una capa de

subbase para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa.

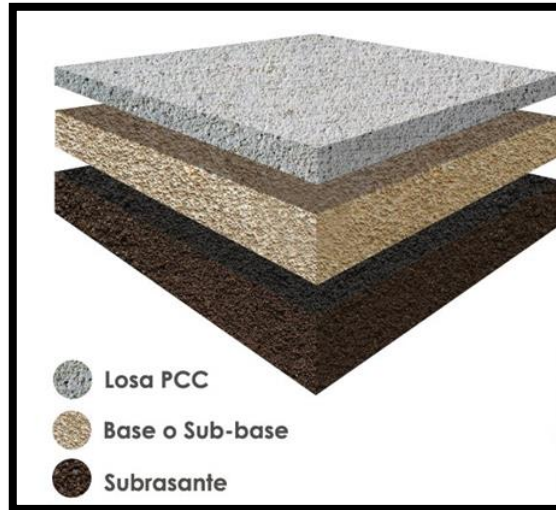


Imagen 3: Estructura de Pavimento rígido

Fuente: Luis Loria

- **Composición estructural de un pavimento rígido:**

Los pavimentos de hormigón o pavimentos rígidos, utilizan como superficie de rodado a una capa de hormigón, simple o armado, para su uso del tránsito vehicular, la cual se encuentra apoyada sobre una base granular.

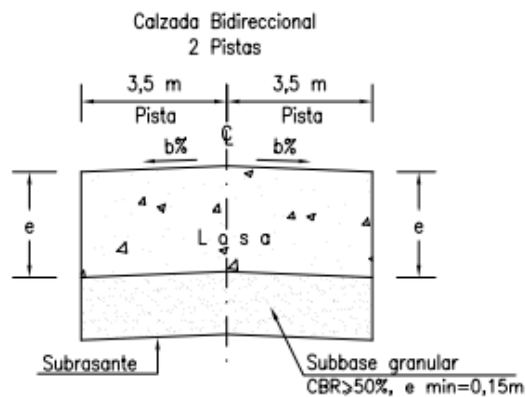


Imagen 4: Losa de hormigón de espesor constante

Fuente: manual de carretera – 2019 – Volumen 4 – planos de obra tipo

En su endurecimiento inicial, el hormigón presenta deformaciones de acortamiento durante su operación, por lo cual debe ser dimensionado en secciones de un largo máximo para establecer lo que se denomina una “losa de hormigón”, estas separaciones de losas deben ser protegidas de las condiciones climáticas que puedan afectar a la base granular, y a la vez mantener la uniformidad en la servicialidad del camino, por lo cual se ejecutan las denominadas juntas de pavimentos, las cuales permiten controlar las deformaciones iniciales y las tensiones asociadas por el alabeo y cargas.

- **Composición de pavimento rígido:**

Sub-rasante:

Es el soporte natural, graduado y compactado, en el cual se puede construir un pavimento, debe soportar los esfuerzos que le son transmitidos por el pavimento.

Sub- base Granular:

Superficie de suelo preparada ubicada bajo la losa de hormigón, compuesta de materiales cribados o triturados parcial, cuya función es entregar un cimienta uniforme y permeable con el fin de que entregue una capacidad de drenaje al pavimento.

Losa de hormigón:

Está elaborada por una combinación de elementos (cemento, agua, árido grueso, árido fino y aditivos que pueden ser opcionales o por necesidad de proceso constructivo). En pavimentos rígidos esta losa de hormigón corresponde a la carpeta de rodado y se encuentra posicionada sobre una sub-base granular o directamente sobre la sub-rasante, es auto resistente y transmite directamente los esfuerzos en una forma minimizada ya que la carga existente sobre ellos, se distribuye uniformemente a través de toda la losa.

Juntas:

Consiste en una separación física entre el hormigón, en un pavimento rígido existente distinto tipo de juntas, dependiendo de cada circunstancia:

- Juntas transversales de construcción: esta se ejecuta al culminar el trabajo diario o por la detención del proceso de avance de la pavimentadora por un tiempo mayor al que permite el re vibrado del hormigón fresco. Esta junta requiere la colocación de barras de traspaso de carga.
- Juntas transversales de contracción: junta preformada o aserrada en el hormigón que crea un plano de debilidad en la losa, con el fin de regular la ubicación de las grietas resultantes, se construyen a la distancia y dirección que especifique el diseño del proyecto.
- Juntas longitudinales: esta junta divide la calzada en 2 o más fajas paralelas y nace la colocación del hormigón en dos calzadas consecutivas.

- **Hormigón, descripción y características:**

El hormigón es un material compuesto, ocupado en la construcción, formado esencialmente por un aglomerante, generalmente cemento portland, al que se le agregan áridos, agua y aditivos específicos según los requerimientos y necesidades de la obra.

El hormigón convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tienen una densidad que varía desde los 2200 kg/m³ hasta los 2500 kg /m³, esta densidad varía dependiendo de diversos factores como la cantidad y densidad de agregados, cantidad de agua, cemento y aire atrapado en el mismo.

La principal característica del hormigón es que resiste muy bien los esfuerzos a la compresión, pero no tiene buen comportamiento frente a otros esfuerzos como tracción, flexión o cortante.

Los hormigones de pavimentos se clasifican principalmente según la NCh 170, por su resistencia a la flexotracción, medidas en vigas normalizadas y ensayadas a 28 días de acuerdo a las NCh 1017 y están diseñados para ser usados principalmente en carreteras, calles, pasajes, pavimentos industriales, estacionamientos, entre otros.

Entre sus características se encuentran:

- Resistencias que varían desde un grado HF3 a HF6 es decir desde 30 kgf /cm² (3,0 Mpa) a 60 kgf /cm² (6,0 Mpa) de resistencia a flexotracción.
- Pueden tener tamaños máximos de áridos de 40 mm o de 20 mm.
- El nivel de confianza con que trabajan estos hormigones es de 80% y 90%.

(Readymix)

Clasificación del Hormigón:

El hormigón se clasifica en grados ya sea respecto a la resistencia a la compresión o a flexotracción.

Clasificación por resistencia a la compresión:

El hormigón se clasifica con respecto a resistencia especificada a compresión, f_c , medidas en probetas cilíndricas en 150mm de diámetro y 300 mm de altura, de acuerdo a las normas NCh1017 y NCh1037, a la edad de 28 días, como se indica en la siguiente tabla.

Grado	Resistencia especificada, f'_c
	Mpa
G05	5
G10	10
G15	15
G20	20
G25	25
G30	30
G35	35
G40	40
G45	45
G50	50
G55	55
G60	60

Tabla 1: Clasificación de los hormigones a la compresión

Fuente: NCh 170, 2016

- **Clasificación por resistencia a la flexotracción:**

El hormigón se clasifica con respecto a su resistencia especificada a flexión, f_t , medida en probetas prismáticas de $d=150$ mm de acuerdo a la NCh1017, y ensayadas aplicando cargas $P/2$ en los límites del tercio central de la luz de ensayo, de acuerdo a la norma NCh 1038, a la edad de 28 días, como se indica en la siguiente tabla. (NCh, 2009)

Grados de flexotracción	Resistencia especificada, f_t
	Mpa
HF 3,0	3,0
HF 3,5	3,5
HF 4,0	4,0
HF 4,5	4,5
HF 5,0	5,0
HF 5,5	5,5
HF 6,0	6,0

Tabla 2: Clasificación de los hormigones a la flexotracción

Fuente: (NCh 170, 2016)

Para el caso de pavimentos, los hormigones se clasifican principalmente por su resistencia a la flexotracción, ya que estos se encuentran sometidos al tránsito vehicular, y someten al pavimento a estas solicitantes.

- **Materiales empleados en la elaboración de hormigones:**

Hormigón:

Hormigón y sus componentes la NCH 170 “Hormigón-Requisitos Generales” define al hormigón como un material que resulta de mezcla de agua, arena, grava, cemento posteriormente más aditivos y adiciones en proporciones adecuadas para que posteriormente al fraguar endurecen y adquieran resistencia. El hormigón se puede definir como una mezcla conformada principalmente por cemento, agua, áridos, un porcentaje de aire y posteriormente aditivos químicos y adiciones minerales pulverulentas.

Cemento:

El cemento es un material en polvo gris, el cual al ser mezclado con aglomerantes pétreos y agua es capaz de generar una mezcla, capaz de fraguar en contacto con él aire y bajo el agua, por esta última cualidad mencionada es considerando como un conglomerante hidráulico (INN, 1968).

Los principales componentes del cemento son la caliza, que presenta un gran contenido de cal en forma de óxidos de calcio y arcilla (sílice), además se utilizan subproductos de procesos industriales como la escoria de hornos. Estas materias primas son mezcladas en proporciones adecuadas, calcinadas y posteriormente molidas, resultando un producto denominado Clinker, el cual se mezcla con yeso para formar finalmente el cemento.

- **Tipos de cemento:**

Cemento Portland:

Cemento comúnmente utilizado en el área de la construcción. Se obtiene de la molienda de Clinker y yeso pudiendo aceptar hasta un 3% de materiales extrañas, excluido el sulfato de calcio hidratado. (NCh 148, 1968).

Cemento de aluminato de calcio:

Es un conglomerante hidráulico que resulta de la molienda, después de la cocción hasta la fusión, de una mezcla compuesta principalmente de alúmina, cal, óxidos de hierro y de sílice en unas proporciones tales que el cemento obtenido contenga, al menos un 30% de su masa de alúmina. El CAC se obtiene por fusión de una mezcla de calizas y bauxitas a una temperatura que alcanza los 1450- 1550°C, después de que un enfriamiento lento, el Clinker es triturado hasta la finura requerida sin añadirle ninguna adición. (Norma UNE-EN 14647, 2006)

- **Áridos:**

Son materiales pétreos que confiere al hormigón estabilidad volumétrica y resistencia mecánica. Constituyen la mayor parte del volumen y masa del hormigón, formando un 75% aproximadamente de su volumen total.

Para su dosificación se debe tener en cuenta las características de los áridos disponibles, de modo que se obtenga un hormigón de máxima resistencia y la docilidad adecuada para las condiciones de la obra. Debido a esto los áridos para el hormigón deben cumplir ciertos parámetros planteados en la (NCh148, 2013), tales como:

- Granulometría definida que asegure la variedad de los tamaños de los granos.
- Cubicidad de las partículas, considerando que la forma de las partículas sea lo más esférica o cubicas posibles.
- Baja porosidad, para reducir la absorción de agua.
- Alta resistencia propia de las partículas.
- Libre de compuestos químicos.
- Resistente a los cambios de temperatura y humedad

Árido fino:

El árido fino, cuya granulometría es determinada según NCh165.

El Árido fino, cuya granulometría es determinada según NCh 165, pasa por el tamiz de abertura nominal 4,75mm y es retenido en el 0,075mm.

Árido Grueso:

El árido grueso, cuya granulometría es determinada según NCh165

- Tamaño máximo absoluto del material será entre 40mm o 50mm.
- Porcentaje que pasa tamiz 0,08 (ASTM N°200) 0,5 % en peso.
- Porcentaje de partículas chancadas: mínimo 50%.

- **Agua:**

El agua es el componente esencial para fabricar el hormigón, ya que es uno de los componentes principales para realizar el amasado de la mezcla y otorgarle trabajabilidad a esta. La cantidad de agua necesaria para esta función es adicional a la requerida para combinar químicamente el cemento. Para la fabricación del hormigón está permitido utilizar agua potable, siempre y cuando esta no se encuentre contaminada con residuos azucarados, ácidos, o alcalinos. Se puede utilizar agua de mar solo para la fabricación de hormigones de resistencia inferior a G15, por otro lado, el agua que sea de origen desconocido se debe someter a análisis químicos. (NCH 1498, 2012)

- **Aditivos:**

Los aditivos son productos que, al ser introducidos en el hormigón, permiten que este mejore o modifique sus propiedades de manera susceptible al ser

prevista y controlada. Sus dosis por lo general fluctúan entre un 0,1% y un 5% del peso del cemento.

La (NCh 2182) “Hormigón y morteros-aditivos –clasificación y requisitos”, clasifica y establece los requisitos de los aditivos químicos que se agregan al hormigón y al mortero durante su fabricación. (NCh 2182)

Esta norma (NCh 2182) se refiere a los siguientes aditivos:

- Aditivos plastificantes.
- Aditivos retardadores.
- Aditivos aceleradores.
- Aditivos plastificantes y retardadores.
- Aditivos plastificantes y aceleradores.
- Aditivos superplastificantes.
- Aditivos superplastificantes y retardadores.
- Aditivos incorporadores de aire.

Es recomendable realizar hormigones de prueba, para definir las dosis de los aditivos en la mezcla.

- **Adiciones:**

La NCh 170, Hormigones-requisitos generales, define las adiciones como materiales sólidos que se agregan al hormigón fresco, para modificar algunas propiedades físicas o mecánicas del hormigón una vez endurecido.

Algunas adiciones son:

- Poliestireno expandido
- Escorias metálicas
- Fibras
- Colorantes

Al igual que los aditivos es recomendable, realizar hormigones de prueba ya que la dosificación de estos materiales dependerá de los resultados de estas.

Capítulo 1: Tipos de Fallas en pavimentos rígidos y técnicas de reparación.

1.1 Técnicas de conservación y rehabilitación en pavimentos rígidos:

Existen diversas técnicas para mantener los pavimentos rígidos, estas pueden aplicarse aisladamente, o puede que alguna falla requiera la aplicación de varias soluciones que trabajando conjuntamente permitan que al pavimento quede en condiciones similares a las que cuando este fue puesto en servicio, entre estas técnicas:

- **Sellado de juntas y grietas:**

Primero se debe verificar que las juntas y grietas que contengan restos de los sellos antiguos o materias extrañas, se limpien completa y cuidadosamente en toda su profundidad. Para ello se utilizan herramientas manuales u otros equipos adecuados que permitan retirar el sello antiguo sin dañar el hormigón.

En general no se usan solventes para remover el sello antiguo, salvo que se demuestre que el procedimiento no significa transportar los contaminantes hacia el interior de la junta, ni una impregnación mayor del hormigón con aceite u otros materiales.

Una vez removido el sello antiguo se procede a repasar con una escobilla de acero que asegure la eliminación de cualquier material extraño o suelto, la limpieza se termina con un soplador o compresor para eliminar todo vestigio de material suelto.

Después de la limpieza, se procede a realizar la imprimación para permitir una perfecta adherencia entre el sello y las paredes de la junta.



Imagen 5: Sellado de juntas y grietas

Fuente: Elaboración propia

- **Reparación de espesor parcial:**

Esta operación se realiza con el fin de reparar junta de pavimentos de hormigón, de contracción y longitudinales, que se presenten saltaduras en las aristas de la losa, estas solo afectan la parte superior del hormigón alcanzando hasta un tercio del espesor de la losa.

Primero se debe establecer la zona deteriorada, que se puede ser mayor que lo que aparenta desde la superficie, la profundidad a remover varía entre 25 y 100 mm, dependiendo de la condición en la que se encuentra el hormigón, lo que se puede constatar por medio de la extracción de un testigo del hormigón

o por el medio auscultación (golpeado con un martillo o una barra de acero con el propósito de analizar el sonido de respuesta, si es metálico se encuentra en buenas condiciones, si suena apagado o hueco, se encuentra deteriorado).

La zona a demarcar debe ser siempre cuadrada o rectangular, esta se cortará hasta una profundidad de 50mm, procediendo después con la demolición del interior de la demarcación con un martillo neumático liviano a no más de un tercio del espesor de la losa procurando que el fondo de la zona afectada quede irregular y rugosa para beneficiar la adherencia del hormigón nuevo.

Si el deterioro de la losa supera una mayor profundidad que un tercio del espesor de la losa, será necesario realizar una reparación de espesor total.

La tensión entre el pavimento nuevo a colocar y el antiguo puede provocar nuevas saltaduras, por lo que se recomienda formar la junta cuando el hormigón este fresco por medio de una faja delgada de plástico, tablilla u otro elemento que separe ambos hormigones.

Para que la unión de ambos pavimentos sea homogénea, antes de hormigonear sobre el fondo rugoso se debe realizar una limpieza mediante hidrolavado, para luego recubrir con un puente adherente o una lechada de relación 1:1 agua cemento.

Se procede a rellenar con un hormigón de la resistencia a la flexotracción solicitada en el proyecto, el cual debe ser compactado con vibrador de

inmersión, terminando con un platachado desde el centro hacia las orillas, finalizando con una textura similar al del resto de los pavimentos antiguos.



Imagen 6: Reparación de espesor parcial

Fuente: Manual de Carretera

- **Reparación en todo el espesor:**

Esta operación tiene por objetivo reemplazar la parte deteriorada de la losa, se recomienda que como mínimo, este abarque el ancho de la losa y no menos de 0,5 m en sentido longitudinal. Antes de comenzar con los trabajos se marca claramente el área del pavimento por remover, respetando las dimensiones mínimas señaladas anteriormente.

La demolición se puede realizar cortando la zona demarcada, se debe demoler el pavimento con martillos neumáticos, retirando cuidadosamente los escombros con retroexcavadora y herramientas manuales, tratando de evitar la capa de base o sub-base.



Imagen 7: Reparación de todo espesor

Fuente: Manual de Carretera

Una técnica para lograr un comportamiento monolítico entre el pavimento nuevo a colocar, y el antiguo, consiste en que en el sentido transversal se hagan dos cortes con sierra, hasta una profundidad equivalente a $\frac{1}{4}$ del espesor de la losa y a unos 150 mm más afuera de la línea que delimita la zona por reemplazar. Enseguida, por las líneas interiores se corte con sierra en todo el espesor. Luego, mediante martillos neumáticos se proceda a demoler y retirar el material deteriorado del pavimento en todo su espesor,

dejando las paredes de la zona delimitada a reparar con una textura rugosa. (Código de Normas y EETT de Obras de Pavimentación MINVU, 2008).

Para la junta longitudinal y los extremos laterales del pavimento, si éstos son también pavimentados, los cortes también se profundizan a todo el espesor; si los extremos laterales no son pavimentados se hace espacio para luego colocar un moldaje. Cuando la zona dañada incluya una junta de contracción, se procure dejarla en el centro del área por remover.

Si en el proceso de remoción se produce algún daño en las sub-bases, ésta se repara de manera que quede perfectamente lisa, a la cota que corresponda y a la compactación según la norma correspondiente.

En las caras de las losas antiguas, excluyendo la losa adyacente (junta longitudinal), se realizan perforaciones horizontales cada 600 mm (la más cercanas al borde externo a 500 mm) y de 300 mm de longitud con un diámetro adecuado para empotrar barras de acero estriadas, de 12 mm de diámetro y 600 mm de longitud, con el fin de amarrar las losas antiguas con el nuevo hormigón.

Para el empotramiento se usa una lechada de cemento hidráulico con un aditivo expansor.

El hormigón a utilizar debe tener una resistencia de 5 MPa a la flexotracción, y debe cumplir las mismas especificaciones que un pavimento nuevo

(dosificación, fabricación, transporte, construcción, curado, aserrado, entrega, controles, etc.)

Se debe asegurar la humedad y limpieza de polvo u otra sustancia, en las caras de losas no removidas ya que el hormigonado se debe realizar contra las caras de estas.

Para obtener un parche de buena calidad es crítica la colocación, terminación y textura final de la superficie que se le dé al hormigón, incluyendo el vibrado priorizando la utilización de cercha vibradora que es la que entrega mejores resultados.

Si pavimentos adyacentes sufrieron algún daño, reparar y limpiar antes de entregar.

- **Colocación de barras (Reposición de transferencia de cargas):**

Esta operación se realiza con el propósito de reponer la transferencia de carga en las juntas y grietas transversales por medio de colocación de barras de transferencia de carga a mitad de espesor de losa.

Estas barras son de acero liso a la cual se le aplica una mano de agente anti adhesivo, son sostenidas por sillas que mantienen la barra en el centro y en sus extremos llevan 2 tapas de expansión plásticas que permiten una expansión del hormigón de 6 mm.



Imagen 8: Barras de transferencia de carga, con tapas de expansión plásticas en los extremos, sostenidas en sillas.

Fuente: Manual de Carretera

1.2 Tipos de deterioros:

- **Juntas y deficiencias en sellados:**

Descripción: deterioro del sello de las juntas que permite la incrustación de materiales incomprensibles (piedras, arena, etc.) o la infiltración de una cantidad considerable de agua superficial.

Se considera como deterioro del sello cualquiera de los siguientes defectos: endurecimiento, despegado de una o ambas paredes, fluencia fuera de la caja, carencia total, incrustación de materias ajenas y crecimiento de vegetación.

Causas posibles:

- Endurecimiento: Producto de mala calidad, envejecimiento.
- Despegado de las paredes de la junta: Producto de sellado de mala calidad, proceso de sellado mal colocado, diseño ineficiente de la caja.
- Fluencia de la caja: exceso de sello, producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente.
- Carencia: producto de mala calidad, procedimiento de colocación deficiente.
- Incrustaciones de materia incomprensible: bermas no pavimentadas, vehículos que dejan caer material.
- Se considera como deterioro del sello cualquiera de los siguientes defectos: endurecimiento, despegado de una o ambas paredes, fluencia fuera de la caja, carencia total, incrustación de materias ajenas y crecimiento de vegetación.

Niveles de severidad:

- **Baja:** longitud con deficiencia de sellado $< 5\%$ de la longitud de la junta.
- **Media:** $5\% \leq$ longitud con deficiencia de sellado $\leq 25\%$ de la longitud de la junta.
- **Alta:** Longitud con deficiencia de sellado $> 25\%$ de la longitud de la junta.

Medición:

- Para juntas transversales indicar cuantas están deterioradas (Nº) y para cada una especificar el nivel de severidad del deterioro.
- Para juntas longitudinales, contabilizar el número de tramos (mínimo de 1 m de longitud cada uno) deteriorados y su longitud total (m). Indicar el nivel de deterioro.

Reparación:

- Verificar que la caja disponga de un ancho compatible con la elongación admisible del producto de sellado por utilizar y los movimientos que experimentan la losas.
- Retirar todo tipo de vestigio del antiguo sello, limpiar cuidadosamente la caja, imprimir con el material adecuado, cuando corresponda colocar cordón de respaldo y vaciar la cantidad exacta de sellante.



Imagen 9: Juntas y deficiencias en sellados

Fuente: Manual de Carretera

- **Juntas y Grietas saltadas:**

Descripción: Desintegración de las aristas de una junta, longitudinal o transversal o una grieta, con pérdida de trozos y que puede afectar hasta unos 500mm de la losa.

Causas posibles:

- Debilitación de los bordes de la junta debido a un acabado excesivo u otro defecto de construcción.
- Penetración de partículas incomprensibles dentro de la caja de una junta o dentro de una grieta activa.

Niveles de severidad:

- **Baja:** ancho de saltaduras < 50 mm, medido desde el centro de la grieta, con pérdida de material o saltaduras, sin pérdida de material y no parchadas.
- **Media:** 50 mm ≤ ancho de saltadura ≤ 150 mm, medido al centro de la junta o grieta y con pérdida de material.
- **Alta:** que el ancho de la saltadura sea > 150 mm, medido desde el centro de la junta o grieta y con pérdida de material.

Medición:

- Establecer para cada nivel de severidad la longitud (m) de juntas y grietas que presentan saltaduras.

Reparación:

- **Severidad baja:** limpiar y retirar sellos antiguos o materias extrañas que se encuentren, se debe imprimación en toda la zona afectada y sellar con un producto parecido al mastik asfáltico.
- **Severidad media y alta:** Se debe limpiar toda la zona que se encuentre con material suelto hasta llegar al hormigón que se encuentre en buenas condiciones, antes de hormigonar verificar que la superficie del hormigón antiguo sea impermeable, recubrir la zona con una lechada

de relación agua cemento, luego colocar el hormigón y vibrándolo, darle una terminación platachando la zona desde el centro hacia las orillas, darle una textura similar a la del resto de la superficie para disimular el parche.



Imagen 10: Juntas y grietas saltadas

Fuente: Manual de Carretera

- **Separación de la junta longitudinal:**

Descripción: Abertura en la junta longitudinal del pavimento.

Causas posibles:

- Ausencia de barras de acero de amarre entre pistas adyacentes.
- Desplazamiento lateral de las losas motivado por un asentamiento diferencial en la subrasante.
- Carencia de berma.

Niveles de severidad:

- **Baja:** ancho de separación < 3 mm y sin deformaciones perceptible de la sección transversal.
- **Media:** $3 \text{ mm} \leq$ ancho de separación ≤ 20 mm y la deformación de la sección transversal no implica riesgos para la seguridad de los usuarios.
- **Alta:** ancho de separación > 20 mm o la deformación de la sección transversal, cualquiera sea el ancho de la separación.

Medición:

- Determinar su longitud (m) y clasificar según grado de severidad.

Reparación:

- Cuando la sección transversal no presenta deformaciones que signifiquen un riesgo para la seguridad de los usuarios. limpiar y retirar sellos antiguos o materias extrañas que se encuentren, se debe imprimación en toda la zona afectada y sellar con un producto parecido al mastik asfáltico.
- Si hay deformaciones peligrosas de la sección transversal, reconstruir el tramo, reconfirmando y re compactando la subrasante y colocando barras de acero en la junta longitudinal.



Imagen 11: Separación de la junta longitudinal

Fuente: Manual de Carretera

1.3 Fisuras y grietas:

- **Fisuras y grietas de esquina:**

Descripción: Grieta que origina un trozo de losa de forma triangular, al interceptar las juntas transversales y longitudinales que forma un ángulo de aproximadamente de 50° con la dirección del tránsito. La longitud de los lados del triángulo varía entre 300mm y la mitad de la losa.

Causas posibles:

- Falta de apoyo de la losa, originado por erosión de la base.
- Sobre cargas en las esquinas.
- Deficiente transmisión de cargas entre las juntas.

Niveles de severidad:

- **Baja:** Longitud con saltaduras < 10% de su longitud, escalonamiento imperceptible y el trozo de la esquina se encuentre completo.
- **Medio:** saltaduras con severidad baja del 10% de la longitud, o el escalonamiento de la grieta o junta < 15mm y el trozo de la esquina este completo.
- **Alta:** Saltaduras con severidad media o alta en más del 10% de longitud o el escalonamiento de la grieta o junta es ≥ 15 mm o el trozo de la esquina está quebrado en dos o más pedazos.

Medición:

Establecer el número de grietas de esquinas para cada nivel de severidad. Clasificarlas con el nivel de severidad presente en al menos el 10% de la longitud.

Reparación

- **Para severidad baja:** Cuando la sección transversal no presenta deformaciones que signifiquen un riesgo para la seguridad de los usuarios. limpiar y retirar sellos antiguos o materias extrañas que se encuentren, se debe imprimación en toda la zona afectada y sellar con un producto parecido al mastik asfáltico.

- **Para severidad media y alta:** Repara en todo el espesor la franja de pavimento del ancho de la losa y de una longitud mínima igual a la distancia entre la junta y la intersección de la grieta con el borde externo.



Imagen 12: fisuras y grietas de esquina

Fuente: Manual de Carretera

- **Fisuras y grietas longitudinales:**

Descripción: grietas que son predominantemente paralelas al eje de la calzada o que se extienden desde una junta transversal hasta el borde de la losa, pero la intersección se produce a una distancia mucho mayor que la mitad de la losa.

Causas posibles:

- Asentamientos de la base o subrasante.
- Losa de ancho excesivo.

- Carencia de una junta longitudinal.
- Mal posicionamiento de las barras de traspaso de cargas.
- Aserrado tardío de la junta.

Medición:

- Determinar la longitud (m) y número de grietas longitudinales para cada nivel de severidad.
- Determinar separadamente también la longitud (m) de grietas longitudinales selladas, clasificándolas según su nivel de severidad.

Reparación:

- **Severidad baja y media:** Cuando la sección transversal no presenta deformaciones que signifiquen un riesgo para la seguridad de los usuarios. limpiar y retirar sellos antiguos o materias extrañas que se encuentren, se debe imprimación en toda la zona afectada y sellar con un producto parecido al mastik asfáltico.
- **Severidad alto:** Se realiza una reparación en todo el espesor del tramo dañado.



Imagen 13: Fisuras y grietas longitudinales

Fuente: Manual de Carretera

- **Fisuras y grietas transversales:**

Descripción

- Grietas predominantemente perpendiculares al eje de la calzada.
- También pueden extenderse desde la junta transversal hasta el borde del pavimento, siempre que la intersección con la junta este a una distancia del borde mayor a que la mitad del ancho de la losa y la intersección con el borde se encuentre a una distancia inferior que la mitad del ancho de la losa.

Causas posibles:

- Losas de longitud excesiva.
- Juntas de contracción aserrada tardíamente.

- Espesor de la losa insuficiente para soportar las solicitaciones.
- Retracción térmica que origina se alabeo.

Niveles de severidad:

Baja: ancho < 3 mm, sin saltaduras y escalonamiento imperceptible.

Medio: $3 \leq$ ancho de grieta ≤ 6 mm o con saltaduras de ancho < 50 mm o escalonamiento < 6 mm.

Alto: ancho ≥ 6 mm o saltaduras de ancho ≥ 50 mm o escalonamiento ≥ 6 mm.

Medición:

Determinar el número de grietas y longitud de estas.

Asignar a cada grieta el nivel de severidad más alto que esté presente en ella al menos en el 10 % de la longitud total.

Determinar separadamente también la longitud total de grietas, agrupadas por nivel de severidad, que tenga el sello en buenas condiciones.

Reparación:

- **Para niveles de severidad baja y media:** Cuando la sección transversal no presenta deformaciones que signifiquen un riesgo

para la seguridad de los usuarios. limpiar y retirar sellos antiguos o materias extrañas que se encuentren, se debe imprimación en toda la zona afectada y sellar con un producto parecido al mastik asfáltico.

- **Para nivel de severidad alta:** Reparación en todo el espesor.

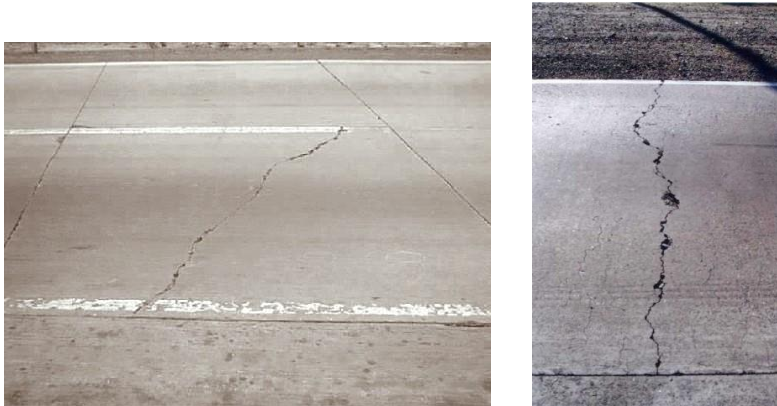


Imagen 14: Fisuras y grietas transversales

Fuente: Manual de Carretera

- **Fisuramiento por retracción:**

Descripción:

Grietas capilares limitadas solo a la superficie del pavimento. Frecuentemente, las grietas de mayores dimensiones se orientan en sentido longitudinal y se

encuentran interconectadas por grietas más finas distribuidas en forma aleatoria.

Causas posibles:

- Curado del hormigón inapropiado.
- Exceso del amasado superficial o adición de agua durante el alisado de la superficie.
- Por la acción del clima en zonas frías
- Productos químicos que se derraman sobre el pavimento.

Niveles de severidad:

- **Baja:** Fisura miento tipo malla, bien definido, pero sin descascara miento.
- **Media:** Fisura miento con descascara miento que afecta menos del 10% de la superficie deteriorada.
- **Alta:** Fisura miento con descascara miento que afecta al 10% o más de la superficie deteriorada.

Medición:

- Establecer la superficie en (m2) deteriorada por cada nivel de severidad.

Reparación:

Para cualquier nivel de deterioro: Reparación en todo el espesor.



Imagen 15: Fisuramiento por retracción

Fuente: Manual de Carretera

- **Desintegración:**

Descripción:

- Desintegración progresiva de la superficie perdiendo primero la textura y luego el mortero, quedando el árido grueso expuesto.

Causas posibles:

- Hormigón con exceso de mortero.
- Hormigones mal dosificados.
- Acción del tránsito.
- Ciclos de hielo-deshielo.

Niveles de severidad:

- No pueden determinarse en niveles de severidad, mediante inspección visual.
- Podrá determinarse en función de la reducción que experimente la resistencia al deslizamiento, es decir cuánto se haya visto reducida la resistencia al deslizamiento del vehículo.

Medición:

- Establecer la superficie en m².

Reparación:

- Reparación en espesor parcial.
- Recubrir con una capa superficial de mezcla asfáltica, si es que se acepta el aumento de la irregularidad que esto significa.



Imagen 16: Fisuras y grietas transversales

Fuente: Manual de Carretera

1.4 Baches:

Descripción:

- Cavidad. Normalmente de forma redondeada, que se forma al desprenderse hormigón de la superficie. Su diámetro varía entre unos 25mm y 100mm y la profundidad supera los 15mm.
-

Causas posibles:

- Materiales deleznable (terrones de arcilla, cal viva, etc.) en el interior del hormigón.
- Mortero poco homogéneo.
- Niveles de severidad
- No se clasifican por niveles de severidad.

Niveles de severidad:

- No se clasifican por niveles de severidad.
- Para establecer un nivel de severidad habría que evaluarlo en función de la intensidad de baches por tramo unitario o unidad de muestreo.

Medición:

- Establecer la cantidad (Nº) de baches y la superficie (m²) de cada uno.

Reparación:

- Limpiar la zona afectada, aplicar un puente adherente en la zona y rellenar con un hormigón que contenga un aditivo expansor.
- Si el deterioro es generalizado en la superficie del pavimento, se puede reparar aplicando una carpeta asfáltica.



Imagen 17: Baches

Fuente: Manual de Carretera

1.5 Levantamiento localizado:

Descripción:

- Levantamiento de la parte de la losa, localizado en ambos lados, localizado a ambos lados de una junta transversal o grieta. Habitualmente el hormigón afectado se quiebra en varios trozos.

Causas posibles:

- Variaciones térmicas cuando la longitud de la losa es excesiva y no cuenta con juntas de expansión.
- En pavimentos con barras de traspaso de carga, mala colocación de estos.
- Presencia de un estrato de suelo expansivo a poca profundidad.

Niveles de severidad:

- No se aplican niveles de severidad

Medición:

- Determinar el número (Nº) de levantamientos, longitud (m) y altura (mm) de cada uno.

Reparación:

- Reparación en todo su espesor, comprendiendo la longitud y ancho de la losa afectada, reconstruir la junta de contracción, si está involucrada.



Imagen 18: Levantamiento Localizado

Fuente: Manual de Carretera

1.6 Fragmentación múltiple:

Descripción:

Área superior a 0,1 m² y hasta las losas completas que presentan múltiples grietas abiertas que dan origen a numerosos trozos separados.

Causas posibles:

Corresponde a una etapa de deterioro muy avanzado de grietas de esquina, grietas longitudinales o transversales o una combinación de ellas,

normalmente por las grietas penetra el agua, por lo que también de la sugerencia de finos.

Niveles de severidad:

Se debe considerar siempre como un deterioro de severidad alta.

Medición:

Determinar el (N°) de zonas afectadas y la superficie (m²) de cada una de ellas.

Reparación:

Reparación en todo su espesor.

Reconstruir la junta de contracción cuando corresponda.



Imagen 19: Fragmentación Múltiple

Fuente: Manual de Carretera

En el capítulo recién visto se presentan los tipos de deterioros que pudiesen estar presentes en el pavimento, en los que eventualmente se pueden utilizar para su reparación Hormigón que contenga aluminato de calcio, para establecerlo tenemos que distinguir el tipo de severidad del deterioro que se ha presentado en una carretera, normalmente de alto tráfico.

Se puede utilizar hormigón de fraguado rápido en las siguientes situaciones:

- Juntas y grietas saltadas: cuando el pavimento se ha visto afectado en un nivel de severidad medio y alto.
- Separación de la junta longitudinal: cuando el pavimento se ha visto afectado en un nivel de severidad alto, o en caso de una deformación de la sección que pudiese significar un peligro para el usuario.
- Fisuras y grietas de esquina: cuando el pavimento se ha visto afectado en un nivel de severidad medio o alto.
- Fisuras y grietas longitudinales: cuando el pavimento se ha visto afectado en un nivel de severidad alto.
- Fisuras y grietas transversales: cuando el pavimento se ha visto afectado en un nivel de severidad alto.
- Fisuramiento por retracción: cuando el pavimento se ha visto afectado en cualquier nivel de severidad, ya que en este caso se debe reparar el pavimento en todo su espesor.
- Desintegración: cuando el pavimento necesita una reparación en espesor parcial.

- Baches: En este caso siempre se podrá utilizar, aunque dependerá de la urgencia, la que se basará en cuan afectado se vea la seguridad y confort de los usuarios.
- Levantamiento localizado: En este caso siempre se utilizará, ya que el pavimento requiere reparación en todo su espesor.
- Fragmentación múltiple: En este caso siempre se utilizará, ya que el pavimento requiere reparación en todo su espesor.

Capítulo 2: Evaluación y ensayos de materiales para confeccionar las probetas de hormigón con CAC.

2.1 Granulometría:

La granulometría es un estudio de los áridos, que permite conocer la medida de los granos de la muestra de sedimentos. Mediante el análisis granulométrico se puede obtener importante información respecto a su origen, propiedades mecánicas y el cálculo de la abundancia de cada uno de los granos según su tamaño dentro de la escala granulométrica.

Según la NCh 165, establece los procedimientos necesarios para efectuar el tamizado y determinar la granulometría de los áridos.

TAMIZ	TAMIZ (mm)	GRAVA % PASA	GRAVILLA % PASA	ARENA % PASA	ARENA FINA % PASA
2 "	50	100			
1 1/2 "	40	98			
1 "	25	53			
3/4"	20	16	100		
1/2"	12,5	1	68	100	100
3/8"	10		41	100	100
N°4	5		4	99	100
N°8	2,5			95	99
N°16	1,25			75	96
N°30	0,63			40	67
N°50	0,315			13	22
N°100	0,16			3	8
N°200	0,08			0,2	5

Tabla 3: Elaboración propia

Fuente: Manual de Carretera, V. 8

- **Determinación de áridos finos menores a 0,08 mm.:**

Según la norma NCh 1223, se realiza la determinación de las impurezas, es decir aquellos materiales menores a 0,08 mm. Obteniéndose a través de la siguiente fórmula:

$$A = \frac{B - C}{B} * 100\% =$$

A = Contenido de material fino.

B = Masa inicial seca.

C = Masa lavada y seca.

Las masas de las muestras para determinar los áridos finos se ven en la siguiente tabla:

	GRAVA	GRAVILLA	ARENA	ARENA FINA
Arido sucio y seco (B)	11552	5974	725,1	797
Arido limpio y seco (C)	11546	5961	716,5	761
Contenido de material fino	0,05	0,2	1,2	4,5

Tabla 4: Elaboración propia

Fuente: Manual de Carretera, V. 8

Los resultados de muestras estudiadas fueron, en la grava cada 11.5 kg. Se encontraron 577 gr. De árido fino, lo que corresponde al 0.05% de la muestra. Respecto a la gravilla por cada 5.974 kg. Sólo 12 gr, fueron árido fino lo que corresponde al 0.2 % de la muestra. Respecto a la arena cada 725 gr. Aproximadamente 9 gr. fueron árido fino lo que corresponde al 1.2 % de la muestra. Por último, en la arena fina cada 797gr. 35 gr. Corresponderán a árido fino lo que asciende al 4.5% de la muestra.

Todos los materiales sometidos a estudio son los que se utilizaran en la mezcla del hormigón con ambos cementos.

- **Densidad aparente:**

Según la NCh 1116, se realizará la determinación de las densidades aparentes de los áridos a utilizar, siendo la densidad aparente la que se considera el volumen total de la partícula más el volumen de los poros y huecos de la muestra, los resultados se obtienen a través de la siguiente formula:

$$\rho_{ac} = \frac{mc}{v} * (kg/m^3)$$

ρ_{ac} = Densidad aparente.

Mc = masa de árido.

v = capacidad volumétrica del molde.

Material	Peso Muestra (gr)	Peso Molde	Densidad Aparente kg/m ³
Grava	7290,5	4804	1518
Gravilla	6808,7	4804	1417
Arena	7341	4804	1528
Arena fina	7523	4804	1566

Tabla 5: Elaboración propia

Fuente: Manual de Carretera, V. 8

En esta tabla expone la densidad aparente en los 4 materiales (áridos) sometidos a estudio. La grava, la arena y arena fina mostraron una densidad aparente de 1.5 kg/m³ respecto de cada muestra y la gravilla por su lado muestra un 1.4 kg/m³.

- **Peso específico y absorción de agua:**

Según la NCh 1239, se realiza el cálculo de peso específico (densidad) y absorción de la arena (utilizada para luego determinar el agua absorbida al momento de amasar la mezcla de hormigón). (NCh 1239, 2009)

Datos arena:

	Arena (gr)	Arena fina (gr)
Masa seca (Ms)	341	332,5
Masa saturada superficialmente seca (Mss)	349,8	347,2
Masa matraz con agua (Ma)	700,5	708,2
Masa matras con agua + muestra (Mm)	927,2	923,3

Tabla 6: Elaboración propia

Fuente: Manual de Carretera, V. 8

Los resultados se obtienen a partir de las siguientes formulas:

$$RSS = \frac{Mss}{Ma + Mss - Mm} * 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$RS = \frac{Ms}{Ma + Mss - Mm} * 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$N = \frac{Ms}{Ma + Ms - Mn} * 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Absorción} = \frac{Mss - Ms}{Ms} * 100\%$$

Los resultados obtenidos se presentan en la siguiente tabla:

	Arena	Arena fina
Densidad real superficialmente seca (Rsss)	2841,5 kg/m ³	2628,3 kg/m ³
Densidad real seca (Rs)	2770,1 kg/m ³	2517 kg/m ³
Densidad neta (N)	2983,4 kg/m ³	2832,2 kg/m ³
Absorción	2,58%	4,42%

Tabla 7: Elaboración propia

Fuente: Manual de Carretera, V. 8

Según la NCh 1117, se realiza el cálculo de peso específico y absorción de la grava. (NCh 1117, 2010)

Los datos de las muestras se ven en la siguiente tabla:

	Grava (gr)	Gravilla (gr)
Peso sumergido (A)	3240	2530
Saturada superficialmente seca (B)	5148,5	4017
Masa seca (C)	5107	3979

Tabla 8: Elaboración propia

Fuente: Manual de Carretera, V. 8

Los resultados se obtienen a través de las siguientes formulas:

$$R_{ss} = \frac{B}{B - A} * 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$R_s = \frac{C}{B - A} * 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$N = \frac{C}{C - A} * 1000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Absorción} = \frac{B - C}{C} * 100 \%$$

Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla:

	Grava	Gravilla
Densidad real superficialmente seca (R _{ss})	2697,6 kg/m ³	2701,4 kg/m ³
Densidad real seca (R _s)	2698 kg/m ³	2675,9 kg/m ³
Densidad neta (N)	2735,4 kg/m ³	2529,6 kg/m ³
Absorción	0,81%	0,96%

Tabla 9: Elaboración propia

Fuente: Manual de Carretera, V. 8

2.2 Confección de probetas:

Para la confección de este hormigón tenemos que tener en consideración que para la puesta en servicio el Manual de carretera V 7.305.3A 2019, solicita unas resistencias mínimas a la flexotracción, según espesor del pavimento:

Espesor Losa (mm)	Resistencia a la Flexotracción (Mpa)
180	2,2
200	2
230	1,7
250 y más	1,4

Tabla 10: Fuente: Manual de Carretera V. 7 305. 3A

2.3 Dosificación de hormigón por método Faury – Joisel:

Es el método utilizado basado en la granulometría de los áridos. Este proceso busca obtener una curva granulométrica de referencia o mezcla ideal (L), combinando el cemento con los áridos obtenidos. Esta curva está definida por el tamaño máximo nominal del árido grueso (Dn) y la resistencia del hormigón que se desea obtener (resistencia de diseño (fd) a los 28 días).

- **Determinación resistencia media de diseño:**

Para la determinación de la resistencia media se debe proceder de la siguiente manera:

Resistencia de diseño: si se supone que la resistencia característica de proyecto a la flexotracción es de 5,0 MPa (51 kg/cm²) a 90 días. Como la resistencia de diseño se debe considerar a 28 días y considerar que los cementos chilenos otorgan un aumento de resistencia de 28 a 90 días de un 18,3% como promedio, tenemos que:

$$f_p = \frac{5MPa}{1,183} = 4,24 MPa \left(\frac{43kg}{cm^2} \right) a28 dias$$

El 18,3% de aumento de f₂₈ a f₉₀ tiene el carácter de recomendación, pudiendo variar de acuerdo al tipo de cemento.

El método requiere conocer la resistencia a compresión, considerando que la resistencia a flexotracción es aproximadamente 1/8 de la resistencia a compresión, se tiene:

$$f_p = 4,24 * 8 = 33,92 \text{ MPa a Compresión}$$

Resistencia de proyecto (f_p) = resistencia requerida en obra (33,92Mpa)

Resistencia de diseño (f_d) = resistencia con la cual se diseña el hormigón para garantizar la resistencia de proyecto.

Factor de corrección (f_{corr}) = factor por el cual se multiplica f_d , para obtener f_p ., según tabla que se indica a continuación:

Confeccion de Hormigón	Resistencia media de dosificación a 28 días
Muy Buena	1,092
Buena	1,144
Regular	1,202

Tabla 11: Fuente Manual Laboratorista Vial, V.6

En este caso se decidió ocupar el factor de corrección “Buena”, de esta forma se aumenta aproximadamente un 20% el valor de f_d y así se garantiza con mayor seguridad la resistencia de proyecto f_p .

Fd se obtiene a través de la siguiente fórmula:

$$fd = fp * fcorr$$

$$fd = 33,92 * 1,144$$

$$fd = 38,8 \text{ MPa}$$

- **Determinación de la cantidad de cemento por m3 de hormigón.**

Para obtener este parámetro, se multiplica la resistencia de diseño del hormigón, por un factor de corrección (véase la tabla a continuación), el cual aumenta o disminuye en un 5 % la cantidad de cemento dependiendo de la calidad de este:

C = cantidad de cemento por metro cubico.

E = factor dependiendo del tipo de cemento a utilizar.

Cemento empleado	"E"
Corriente	1,05
Alta Resistencia	0,95

Tabla 12: Fuente Manual Laboratorista Vial, V. 6

$$C = fd * E$$

$$C = 38,8 \text{ MPa} * 1,05$$

$$C = 40,74 \text{ MPa} * 10,2 \text{ kg/m}^3$$

$$C = 416 \text{ Kg/m}^3$$

- **Determinación razón de agua/cemento**

Este parámetro se obtiene de la siguiente tabla que determina la razón agua/cemento según la resistencia de diseño (fd) a los 28 días.

Fd 28 días (Mpa)	41	35	31	26	23	18	14	13
Razón a/c	0,41	0,43	0,46	0,53	0,58	0,78	0,92	1

Tabla 13: Fuente Manual Laboratorista Vial, V. 6

La razón agua/ cemento se expresa a través de la siguiente formula:

$$R(a/c) = \frac{A}{C}$$

R (a/c) = razón agua cemento, definido en la tabla anterior.

A = agua L/m³

C = cemento kg/m³

Fd =38,8 se interpolan los datos obtenidos en la tabla anterior para obtener la razón a/c correspondiente.

Los datos extraídos de la tabla anterior son ordenados para una mejor interpretación en la siguiente tabla.

X0=41	Y0= 35
X= 38,8	Y= (¿?)
X1= 0,41	Y1= 0,43

Tabla 14: Elaboración propia. Fuente Manual Laboratorista Vial, V. 6

Los resultados se obtienen a través de la siguiente formula “ecuación lineal de una recta entre dos puntos”

$$Y = X1 + \frac{Y1 - X1}{Y0 - X0} (X - X0)$$

$$Y = 0,41 + \frac{0,43 - 0,41}{35 - 41} (38,8 - 41)$$

$$Y = 0,41 \frac{a}{c}$$

- **Determinación agua de amasado:**

Conocido el valor de a/c y cantidad de cemento por m3, se determinará la cantidad de agua del amasado utilizando la siguiente formula:

$$A = C * \frac{a}{c}$$

A = agua de amasado.

C = cantidad de cemento por m3.

a/c = razón agua/cemento.

$$A = 416 \frac{Kg}{m^3} * 0,41 \frac{a}{c}$$

$$A = 170 \text{ Lts}/m^3$$

- **Determinación de la compacidad (z) y las proporciones de la mezcla (%):**

Compacidad (z) = es el volumen de hormigón que está disponible para ser ocupado por los árido y el cemento, se calcula a partir de la siguiente formula:

$$Z = 1 - (ha + A)$$

Z = volumen de árido + cemento

Ha = volumen de aire ocluido (Lts/m3) ver tabla a continuación

A = cantidad de agua (m3)

Dn	mm	10	12,5	20	25	40	50	80
	pulgada	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"
Hormigon sin aire ocluido		30	25	20	15	10	5	5
hormigon con aire ocluido		80	70	60	50	45	40	35

Tabla 15: Fuente Manual Laboratorista Vial, V. 6

Para el tamaño máximo nominal del árido equivalente a 40 mm, se obtiene un volumen de aire ocluido correspondiente a 10 lts. (véase tabla anterior), por lo tanto, el valor de z es:

$$Z = 1 - (ha + A)$$

$$Z = 1 - (0,01 + 0,170)$$

$$Z = 0,82 \text{ m}^3$$

Con el valor de z conocido, se puede obtener el porcentaje del volumen correspondiente al cemento ocupado por m³. Utilizando la siguiente formula:

$$C = \frac{C}{z * psc} * 100$$

c = % del elemento C.

C = kilogramos de cemento.

psc = densidad de las partículas sólidas del cemento (3100 kg/m³).

$$C = \frac{416}{0,82 * 3100} * 100$$

$$C = 16,4 \%$$

Para determinar en volumen de la grava (g) y arena (f) usando el grafico, se debe obtener primero la curva ideal de L definida por:

$$z = Dn = 40mm$$

$$z = \frac{Dn}{2} = M + N = 20mm$$

M = según tipo de partículas, la consistencia y compactación requerida (véase en la siguiente tabla).

N = según tamaño máximo nominal del árido (véase tabla 17 a continuación)

Consistencia	Compactación	Arena rodada Grava rodada	Arena rodada Grava chancada	Arena chancada Grava chancada
Muy fluida	Nula	32 o más	34 o más	38 o más
Fluida	Debil	30 - 32	32 - 34	36 - 38
Blanda	Medio	28 - 30	30 - 32	34 - 36
Plástica	Cuidadosa	24 - 26	26 - 28	28 - 30
Muy firme de tierra	Potente	24 - 26	25 - 27	26 - 28
Húmedo	Muy potente	22 - 24	24 - 26	26 - 29

Tabla 16: Fuente Manual Laboratorista Vial, V. 6

Tamiz		Raíces quintas	N
(mm)	US		
80	3"	2,38	42,36
63	2 1/2"	2,29	40,76
50	2"	2,19	39,98
40	1 1/2"	2,07	36,85
25	1"	1,91	34,00
20	3/4"	1,8	32,04
12,5	1/2"	1,66	29,95
10	3/8"	1,57	27,95

Tabla 17: Fuente Manual Laboratorista Vial, V. 6

$$z = \frac{Dn}{2} = M + N = 20mm$$

En este caso se decide confeccionar un hormigón con una consistencia muy firme y con una compactación potente, por lo tanto, la formula queda de la siguiente forma:

$$z = 20 \text{ mm} = 28 + 36,85 = 20mm$$

$$Y = 64,85 \%$$

Finalmente, para determinar de forma gráfica las proporciones del agregado fino (f) y grueso (g), se debe dibujar primero las curvas obtenidas de la granulometría de los áridos, para luego dibujar la curva ideal (L). obteniendo de esta forma 4 posibles casos (véase las imágenes a continuación).

Caso A: Granulometría continua, el tamaño máximo del árido fino coincide con el tamaño mínimo del árido grueso.

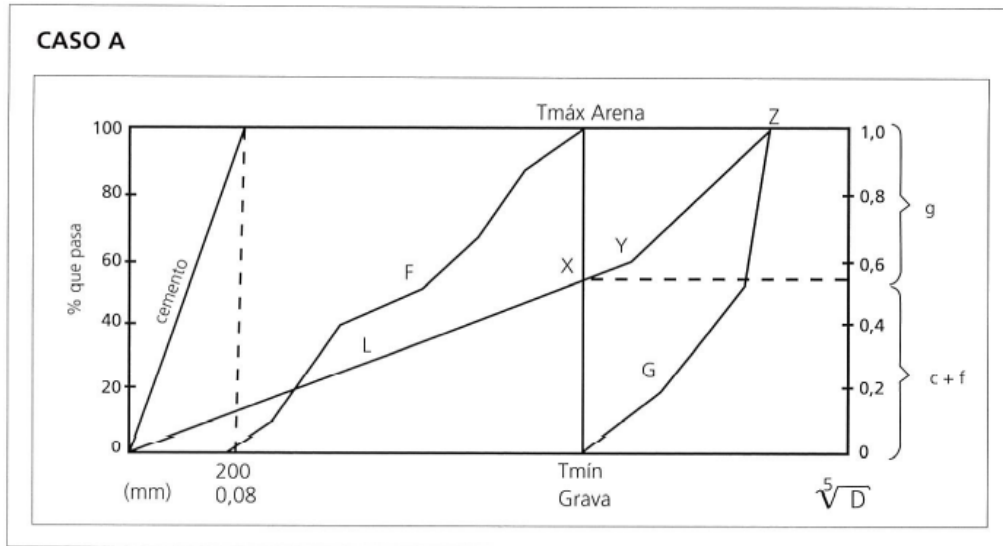


Imagen 20: Granulometría continua
 Fuente: Manual de Laboratorista Vial

Caso B: Granulometría discontinua, no existen granos de ciertos tamaños.

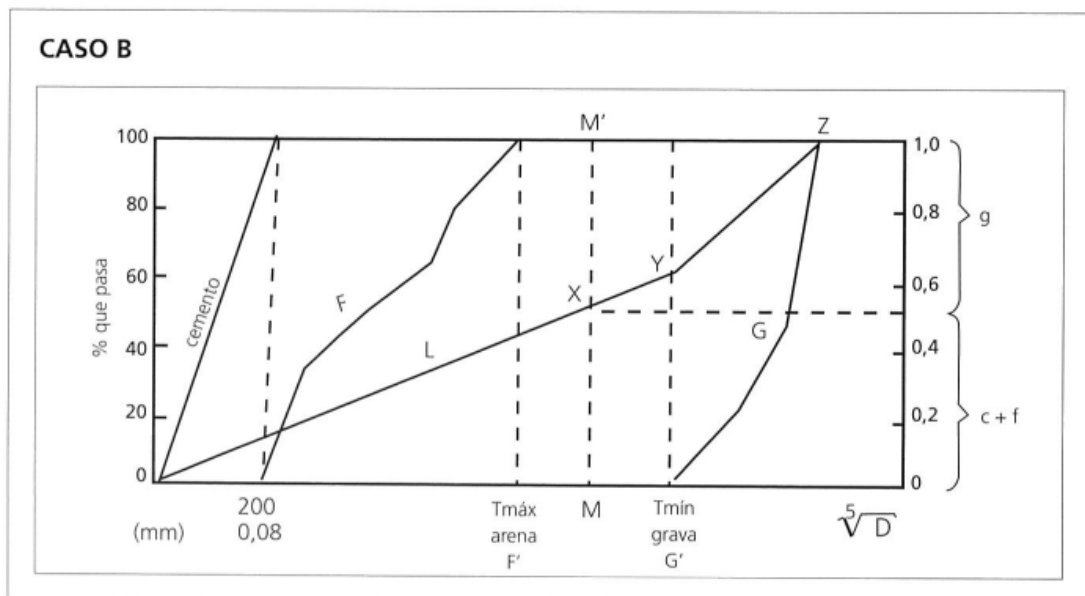


Imagen 21: Granulometría discontinua
 Fuente: Manual de Laboratorista Vial

Caso C: Ambas curvas granulométricas (f) y (g) presentan tamaños comunes.

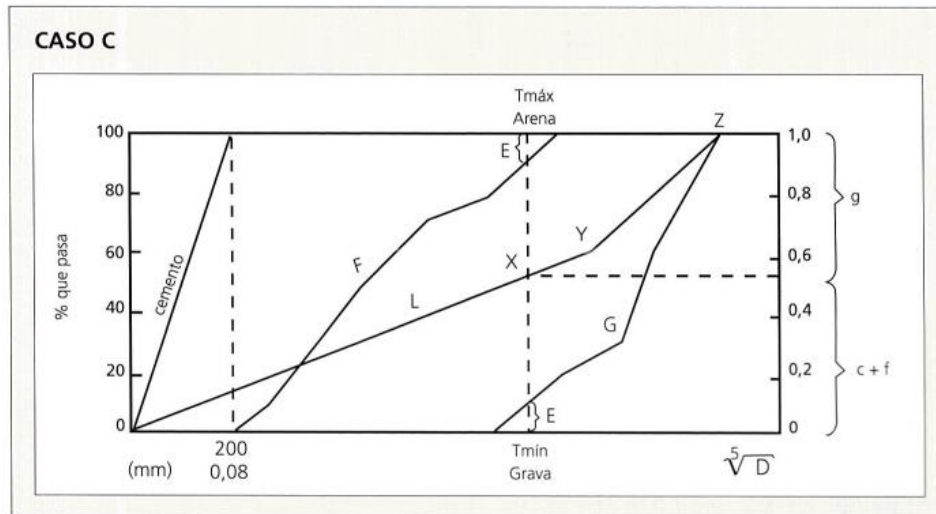


Imagen 22: Ambas curvas granulométricas

Fuente: Manual de Laboratorista Vial

Caso D: Empleo de dos o más áridos.

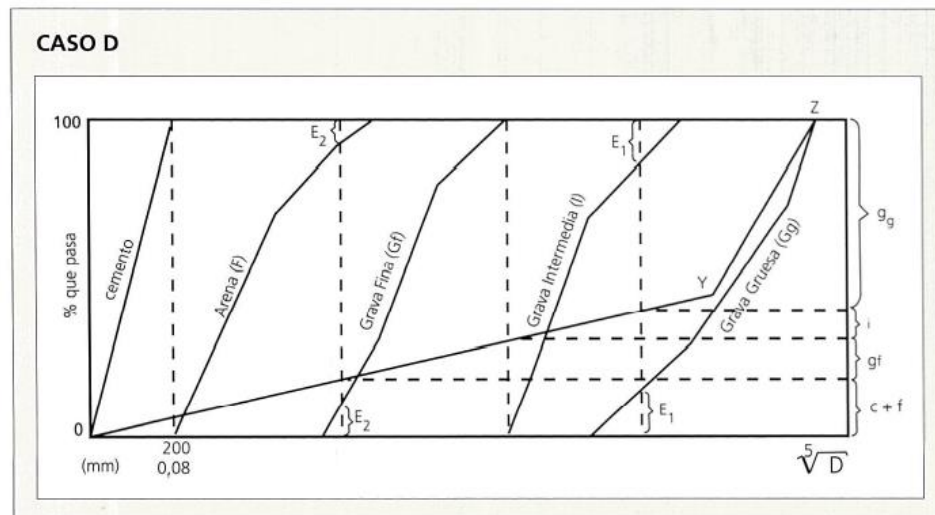


Imagen 23: Empleo de dos o más áridos.

Fuente: Manual de Laboratorista Vial

La granulometría obtenida en este caso corresponde al caso D, ya que se emplean más de dos áridos.

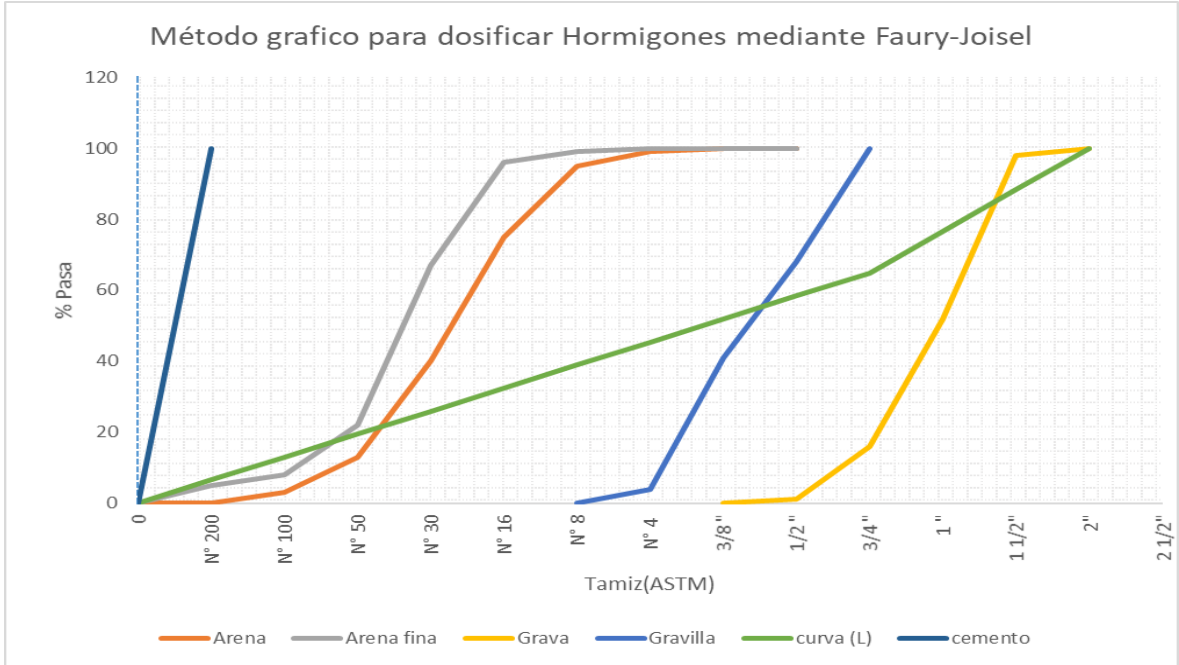


Imagen 24: Elaboración propia.

Fuente: Manual de Laboratorista Vial

Analizando el gráfico de acuerdo al caso D:

Se tiene un punto de intersección de la curva L con la recta formada entre ambas curvas granulométricas considerando un valor E igual en ambas, este punto determina el porcentaje de material correspondiente a la grava (parte superior) y arena más cemento en la parte inferior.

Se toman las curvas de grava y gravilla y se obtiene el porcentaje de gravilla.

Se procede sucesivamente del mismo modo hasta obtener todos los porcentajes.

% de Áridos	
Grava	35%
Gravilla	25%
Arena	20%
Arena fina + cemento	20%

Tabla 18: Elaboración Propia

Fuente: Manual de Laboratorista Vial

El porcentaje de cemento, obtenido del cálculo anterior en el punto, corresponde a 16% por lo tanto, despejando se obtiene:

$$\text{Arena fina + cemento} = 20\%$$

$$\text{Arena fina} + 16\% = 20\%$$

$$\text{Arena fina} = 4\%$$

Finalmente, los porcentajes correspondientes a cada material se muestran en la siguiente tabla:

% de Áridos	
Grava	35%
Gravilla	25%
Arena	20%
Arena fina	4%
Cemento	16%

Tabla 19: Elaboración Propia

Fuente: Manual de Laboratorista Vial

Una vez obtenidas las proporciones f y g, se pueden obtener la cantidad de árido grueso y árido fino a través de las siguientes expresiones:

$$Grava = g * z * prsg \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$Arena = f * z * prsg \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$Cemento = c * z * prsg \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$Grava = 0,35 * 0,82 * 2698 = 775 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$Gravilla = 0,25 * 0,82 * 2676 = 548 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$Arena = 0,20 * 0,82 * 2770 = 452 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$Arena\ fina = 0,08 * 0,82 * 2517 = 165 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

$$Cemento = 0,16 * 0,82 * 3100 = 416 \left(\frac{Kg}{m^3} \right)$$

- **Determinación del agua de absorción:**

El agua absorbida por los áridos (W_a), se determina según la cantidad de kilogramos por metro cubico correspondiente a cada material, multiplicado

por su respectivo porcentaje de absorción obtenido en el punto anterior a través de la siguiente fórmula:

$$W_a = Grava * \alpha_{g1} + Grava * \alpha_{g2} + Arena * \alpha_{f1} + Arena * \alpha_{f2}$$

α_{g1} = Porcentaje de absorción, grava.

α_{g2} = Porcentaje de absorción, gravilla.

α_{f1} = Porcentaje de absorción, arena.

α_{f2} = Porcentaje de absorción, arena fina.

$$W_a = 775 * 0,0081 + 548 * 0,0096 + 165 * 0,0258 + 416 * 0,0442$$

$$W_a = 34.1 \text{ Litros}$$

Total, de agua amasado (A) + agua de absorción (W_a).

$$Total = 170 + 34,1$$

$$Total = 204 \text{ Litros}$$

Los resultados finales de la cubicación de los materiales por metro cubico de hormigón se muestran en la siguiente tabla.

Tabla de resumen, cantidad de material por metro cúbico	
Grava	775 kg
Gravilla	548 kg
Arena	452 kg
Arena fina	165 kg
Cemento	416 kg
Agua	170
Razon A/C	0,41

Tabla 20: Elaboración Propia

Fuente: Manual de Laboratorista Vial

- **Docilidad del hormigón:**

El cálculo de la docilidad del hormigón es realizado por el método del Cono de Abrams, para cada una de las dosificaciones.

El método del Cono de Abrams establece la consistencia según el descenso (cm) que experimente la masa de hormigón una vez retirado el molde.

Consistencia	Asentamiento del cono (cm)
Seca (S)	0 a 2
Plástica (P)	3 a 5
Blanda (B)	6 a 9
Fluida (F)	10 a 15
Líquida (L)	≥ 16

Tabla 21: Consistencia de hormigones

Fuente: J. Montoya, Hormigones

Las dosificaciones realizadas dieron como resultado los siguientes valores:

Muestra	Cono de Abrams
Patron (Portland)	5
Muestras (CAC)	12

Tabla 22: Elaboración Propia

Fuente: J. Montoya, Hormigones



Imagen 25: Cono de Abrams

Fuente: Elaboración Propia

Las dosificaciones estuvieron en el rango de 12 cm, por lo tanto, es una mezcla fluida por lo que requiere una compactación baja.

Según el método Faury, y de la selección del tipo de mezcla, se aprecia que las docilidades de los hormigones fueron las seleccionadas al momento de dosificar.

2.4 Ensayos:

Ensayos a la compresión, a modo explicativo, se realizará el cálculo para una probeta cubica.

En la probeta utilizada se toman diferentes medidas: 4 alturas(h), 2 largos (L) y 2 anchos (B), obteniendo un promedio de cada uno de éstos, además otro dato importante es el peso.

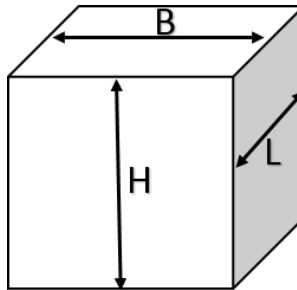


Imagen 26: Dimensiones de referencia

Fuente: Elaboración propia

Se obtienen los siguientes resultados (vease la siguiente tabla como ejemplo:

Probeta					
					Promedio
Alto (mm)	149	148,5	149	148,5	148,75
Largo (mm)	149	148			148,5
Ancho (mm)	149	148			148,5
Peso (g)	8650				8650
Carga (N)	10350				10350

Tabla 23: Ejemplo cálculo de dimensiones y peso de probeta

Fuente: Elaboración propia

Luego de obtener los datos anteriores se realizan los siguientes cálculos referente a las fórmulas:

Calculo de Area : $Altura * Ancho = mm$

$$148.75 * 148,5 = 22089$$

Calcular Volumen : $Altura * Ancho * Largo = mm$

$$148.75 * 148,5 * 148,5 = 3280 mm$$

Calculo densidad:

$$\frac{Peso}{Volumen} = kg/m^3$$

$$\frac{8650}{3280} = 2637 kg/m^3$$

Calculo de resistencia a la compresión :

$$\frac{Carga}{Area} * 0,95 = MPa$$

$$\frac{10350}{22089} * 0,95 = 0,44MPa$$

Para realizar este cálculo necesitamos conocer la resistencia a la compresión, considerando que la resistencia a la flexotracción es 1/8 de la resistencia a la compresión. (Manual de Laboratorista Vial, 2019).

Calculo de flexotracción :

$$\frac{\text{Compresión}}{8} = MPa$$

$$\frac{0,44}{8} = 0,055 MPa$$

2.5 Análisis de Ensayos:

En los siguientes ensayos que realizaremos con la dosificación que obtuvimos anteriormente, es la que nos regirá, realizaremos pruebas ambos tipos de cemento portland y cemento con aluminato de calcio.

Las dimensiones, pesos y densidades de todas la probetas a distintas horas, son las siguientes:

- **Análisis de Probetas:**

Datos							
N° DE Muestra	Dosificacion	Tiempo de Fraguado (hrs)	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Peso (g)	Carga (N)
Muestra Patron	Patron 416 kg (Portland)	2	0	0	0	0	0
		4	147,5	150	148,5	8507	17000
		6	148,5	149	148	8453	35900
		8	148,5	149	148	8445	46900
Muestra 1	500 kg	2	148	146	149,5	8220	15900
		4	148	150	148,8	8469	883000
		6	148	150,5	148,8	8456	1307100
		8	148,9	149	148	8444	1363700
Muestra 2	480 kg	2	148	147,2	147,5	8520	225200
		4	148,5	149,5	149,2	8550	1102200
		6	148	149,5	149,3	8475	1372500
		8	149	148,5	149,1	8468	1471800
Muestra 3	460 kg	2	148	152	148	8563	364000
		4	149	153,3	148,5	8783	1068400
		6	148	150,3	148,7	8612	1275400
		8	148,5	150	148	8661	1440800
Muestra 4	420 kg	2	147,5	152	148	8607	10200
		4	149,5	151,8	148,3	8572	964100
		6	149	150,5	148,7	8531	1231200
		8	147,5	151,5	148,7	8536	1439100
Muestra 5	416 kg	2	147,5	149	147,5	8566,5	10200
		4	148,5	149	148,3	8486,5	876900
		6	148,5	148,5	148,3	8454,5	1174400
		8	147,5	149,5	148	8460	1353700
Muestra 6	400 kg	2	148,5	149,5	148	8492	20500
		4	149,5	148,5	148,3	8478	734100
		6	148,5	148	148,5	8437	1469000
		8	148,5	149,5	147,7	8460	1571200
Muestra 7	350 kg	2	148,5	149	148,3	8547	14500
		4	148,5	148,5	148	8408	562000
		6	148,5	150	148,5	8554	1381200
		8	148,5	150	148	8605	1433400
Muestra 8	300 kg	2	148	151	148,3	8602	39000
		4	149,5	148,5	148	8430	522800
		6	148,5	150	148,8	8555	1037200
		8	148	151,5	148,3	8638	1290400
Muestra 9	200 kg	2	147	149	148,5	8650	22500
		4	149	151	148	8659	215000
		6	148,5	149,5	148	8457	540500
		8	149	149,5	148	8543	924100

Tabla 24: Datos de los ensayos

Fuente: Elaboración propia

- **Resultados de ensayos de probetas:**

Resultados						
Dosificación	Cono de Abrams	Área (mm ²)	Volumén (cm ³)	Densidad (kg/m ³)	Res. (Comp) MPA	Res. (flexo) (MPa)
Patron 416 kg (Portland)	5	0	0	0	0	0
		22125	3286	2589	0,73	0,09
		22125	3275	2581	1,5	0,188
		22127	3275	2579	2.01	0,25
500 kg	12	21608	3273	2558	0,70	0,09
		22200	3303	2564	37,8	4,7
		22274	3308	2556	55,7	7,0
		22276	3297	2561	58,2	7,3
480 kg	12	21786	3213	2652	9,8	1,2
		22200	3312	2582	47,1	5,9
		22200	3315	2557	58,7	7,3
		22126	3299	2567	63,2	7,90
460 kg	12	22496	3329	2572	15,4	1,9
		22842	3392	2598	44,4	5,6
		22244	3308	2603	54,5	6,8
		22275	3297	2627	61,5	7,69
420 kg	12	22420	3318	2594	0,43	0,05
		22694	3365	2547	40,4	5,1
		22425	3334	2559	52,2	6,5
		22346	3323	2596	61,2	7,65
416 kg	12	2177	3242	2642	0,44	0,06
		22127	3281	2586	37,6	4,70
		22052	3270	2585	50,6	6,33
		22051	3264	2592	58,3	7,29
400 kg	12	22201	3268	2576	0,88	0,1
		22201	3292	2557	31,4	3,9
		21978	3264	2585	63,5	7,9
		22201	3279	2580	67,2	8,40
350 kg	12	22127	3281	2605	0,62	0,08
		22052	3264	2576	24,2	3,0
		22275	3308	2586	58,9	7,4
		22275	3297	2610	61,1	7,64
300 kg	12	22348	3314	2596	1,95	0,24
		22201	3286	2566	22,4	2,8
		22275	3315	2581	44,2	5,5
		22422	3325	2598	57,5	7,19
200 kg	12	21903	3253	2659	0,98	0,12
		22499	3330	2600	9,1	1,1
		22201	3286	2579	23,1	2,9
		22275	3297	2591	39,41	4,93

Tabla 25: Resultado de ensayos

Fuente: Elaboración propia

- **Resultados a la Flexotracción:**

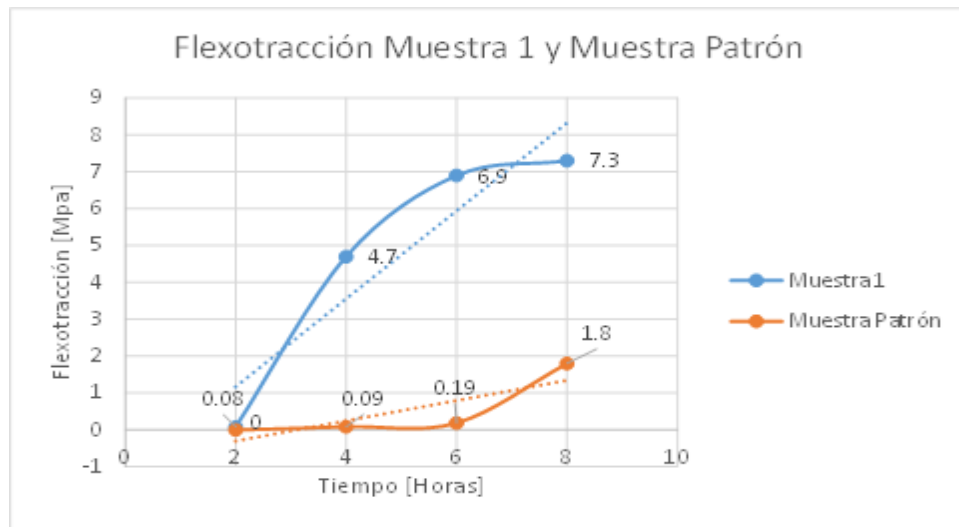
RESISTENCIA A LA FLEXOTRACCION					
	Dosificación	2 [hrs]	4 [hrs]	6 [hrs]	8 [hrs]
Muestra Patrón		0 [MPa]	0,09 [MPa]	0,19 [MPa]	1,8 [MPa]
Muestra 1	500 [kg]	0,08 [MPa]	4,7 [MPa]	6,9 [MPa]	7,3 [MPa]
Muestra 2	480 [kg]	1,2 [Mpa]	5,8 [MPa]	7,3 [MPa]	7,9 [MPa]
Muestra 3	460 [kg]	1.9 [MPa]	5,5 [MPa]	6,8 [MPa]	7,6 [MPa]
Muestra 4	420 [kg]	0,05 [MPa]	5,1 [MPa]	6,5 [MPa]	7,7 [MPa]
Muestra 5	416 [kg]	0,05 [MPa]	4,7 [MPa]	6,3 [MPa]	7,3 [MPa]
Muestra 6	400 [kg]	0,11 [MPa]	3,9 [MPa]	7,9 [MPa]	8,4 [MPa]
Muestra 7	350 [kg]	0,07 [MPa]	3,0 [MPa]	7,3 [MPa]	7,6 [MPa]
Muestra 8	300 [kg]	0,24 [MPa]	2,8 [MPa]	5,5 [MPa]	7,1 [MPa]
Muestra 9	200 [kg]	0,13 [MPa]	1,1 [MPa]	2,9 [MPa]	4,92 [MPa]

Tabla 26: Resultado de la Flexotracción

Fuente: Elaboración propia

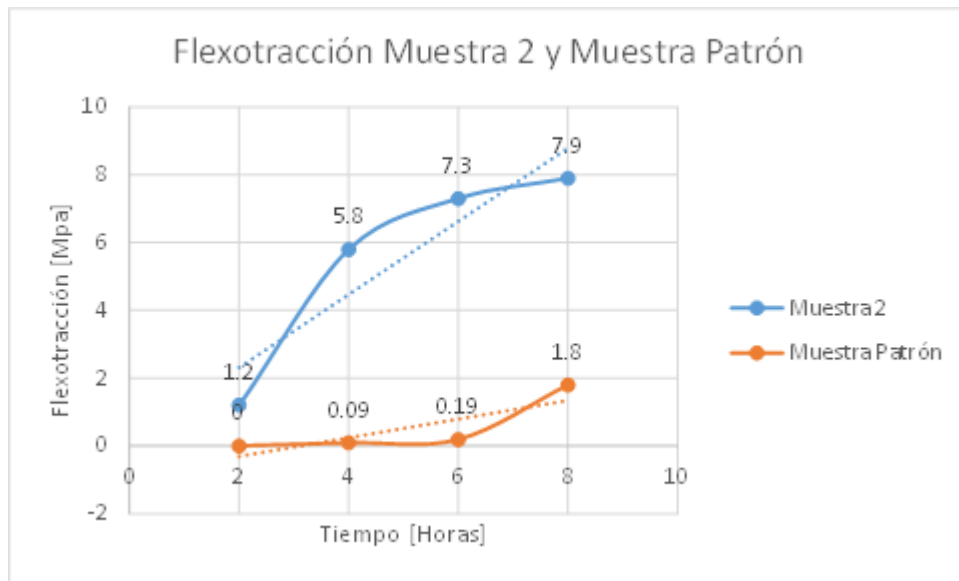
2.6 Gráficos comparativos:

- Gráfico 1: Resistencia a la Flexotracción de Muestra 1 y Muestra Patrón.



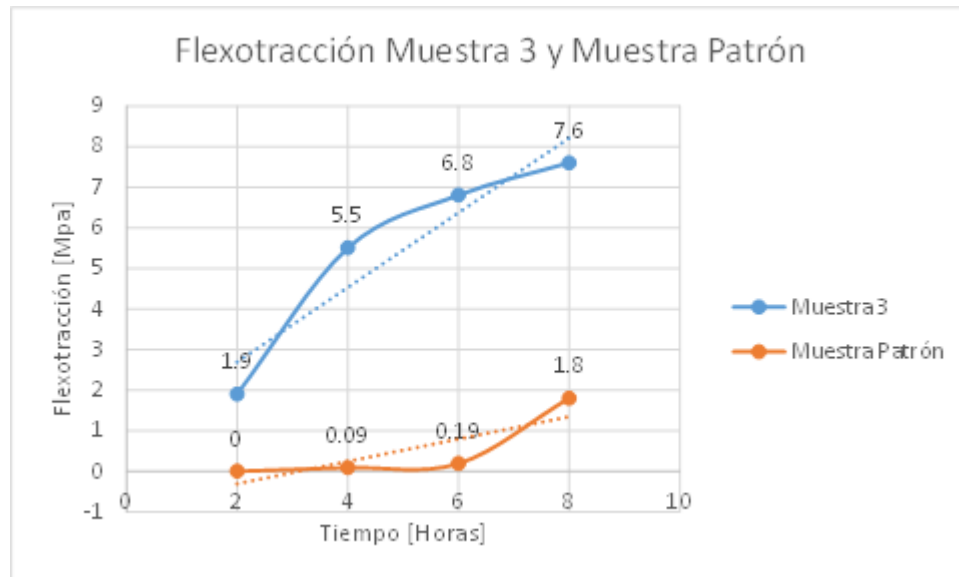
Fuente: Elaboración propia

- Gráfico 2: Resistencia a la Flexotracción de Muestra 2 y Muestra Patrón.



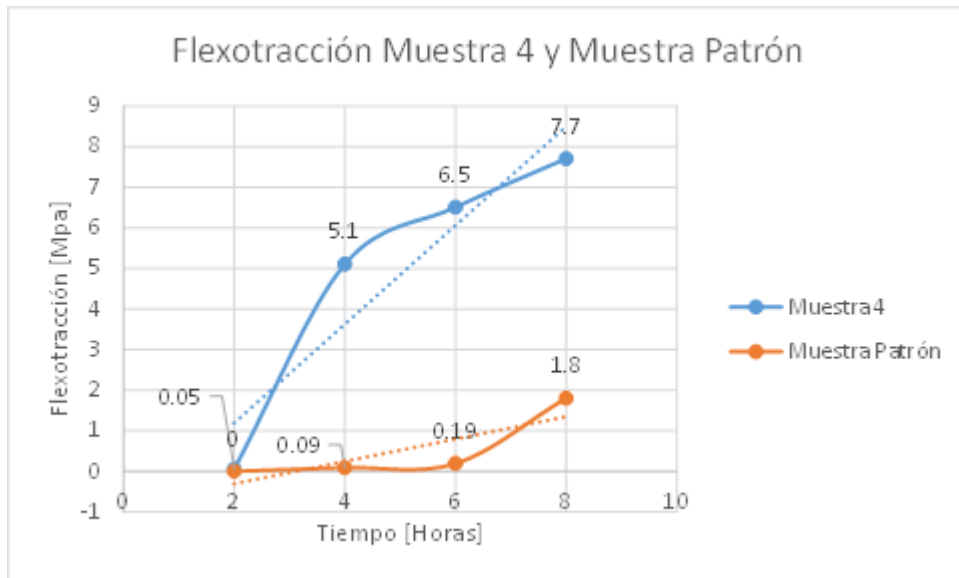
Fuente: Elaboración propia

- Gráfico 3: Resistencia a la Flexotracción de Muestra 3 y Muestra Patrón.



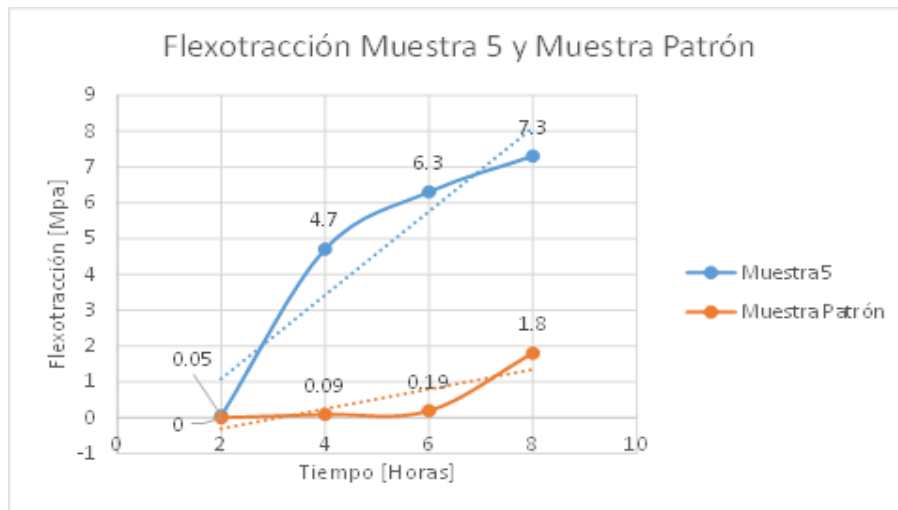
Fuente: Elaboración propia

- Gráfico 4: Resistencia a la Flexotracción de Muestra 4 y Muestra Patrón.



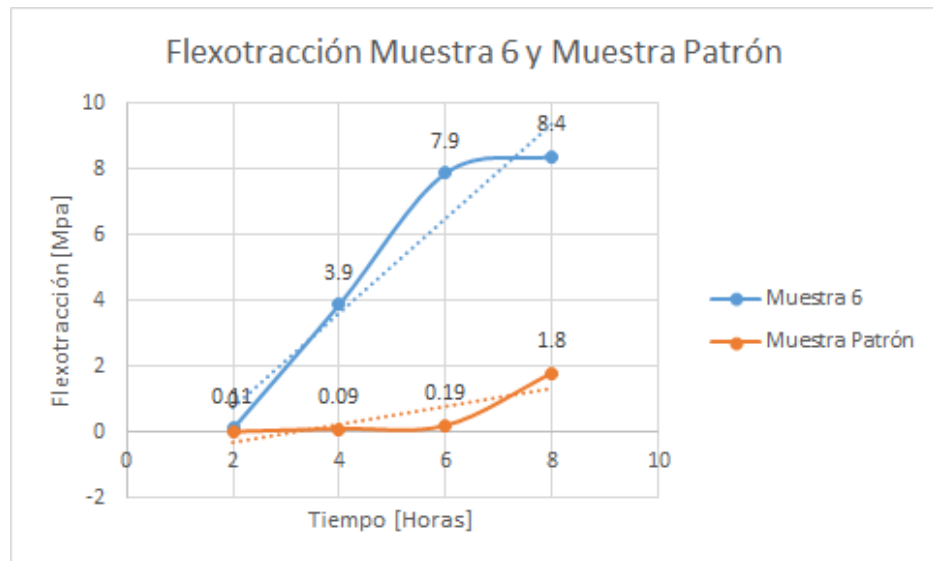
Fuente: Elaboración propia

- Gráfico 5: Resistencia a la Flexotracción de Muestra 5 y Muestra Patrón.



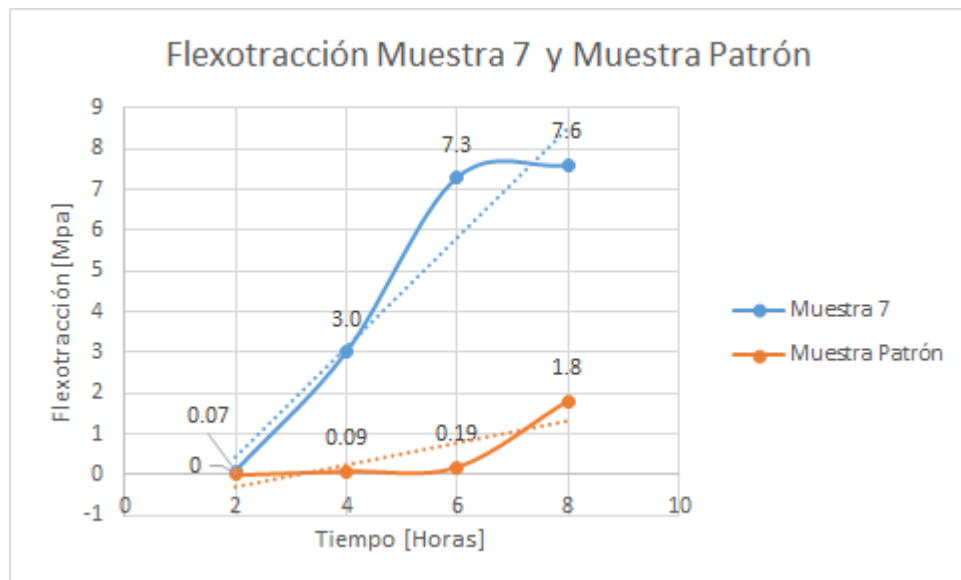
Fuente: Elaboración propia

- Gráfico 6: Resistencia a la Flexotracción de Muestra 6 y Muestra Patrón.



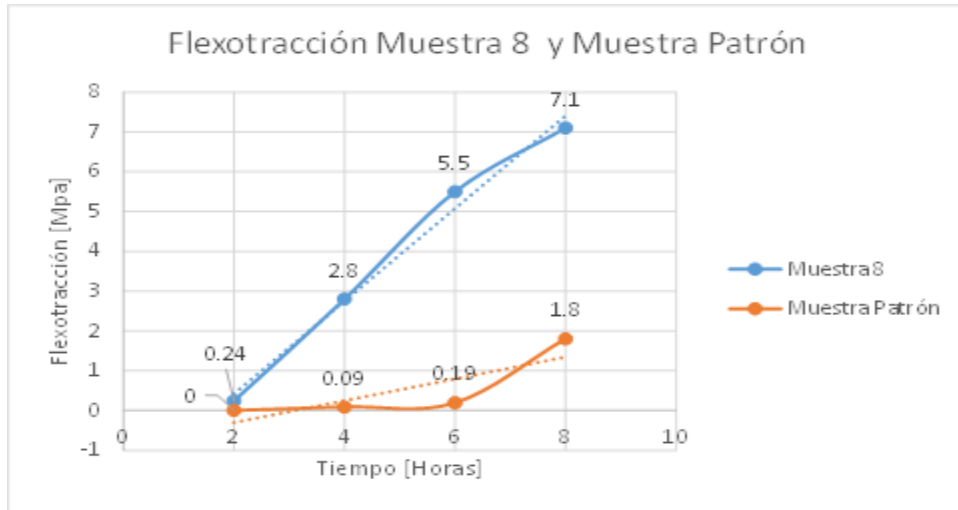
Fuente: Elaboración propia

- Gráfico 7: Resistencia a la Flexotracción de Muestra 7 y Muestra Patrón.



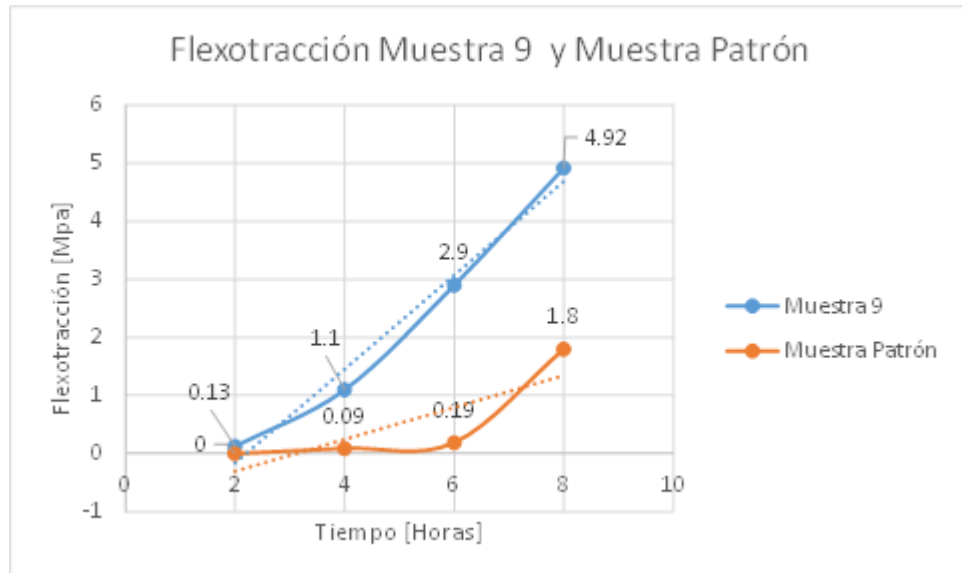
Fuente: Elaboración propia

- Gráfico 8: Resistencia a la Flexotracción de Muestra 8 y Muestra Patrón.



Fuente: Elaboración propia

- Gráfico 9: Resistencia a la Flexotracción de Muestra 9 y Muestra Patrón.



Fuente: Elaboración propia

2.7 Análisis de resultados:

Según lo ilustrado desde el gráfico 1 hasta el gráfico 9, se puede observar que la resistencia a la flexotracción de las probetas ensayadas de cada muestra, presentaron un aumento en su resistencia respecto al hormigón patrón en las diferentes horas estudiadas.

Llevado a cabo los ensayos, se puede determinar que los mayores valores de resistencia a la flexotracción de las muestras ocurren a las 8 horas. Para la Muestra 1 se presentó un incremento de 5,5 [MPa], lo que representa un aumento de resistencia de un 305% respecto al hormigón patrón. Lo mismo ocurre en la Muestra 2, presentó un incremento de 6,1 [MPa], lo que representa un aumento de resistencia de un 338% respecto al hormigón patrón. Igualmente, la Muestra 3 presenta un valor más alto a las 8 horas en su resistencia, mostró un incremento de 5,8 [MPa], lo que representa un aumento de resistencia de un 322% respecto a la muestra patrón. Mismo caso para la Muestra 4, presentó un incremento de 5,9 [MPa], lo que representa un aumento de resistencia 327% en relación al hormigón patrón. Así mismo, la Muestra 5, Muestra 6 y Muestra 7 presentan un mayor valor en su resistencia a la flexotracción a las 8 horas, presentando un incremento de 5,5 [MPa], 6,6 [MPa] y 5,8 [MPa] respectivamente, lo que representa un aumento de resistencia de 305%, 366% y 322% en relación a la muestra patrón. Finalmente, para la Muestra 8 y Muestra 9 ocurre el mismo caso, presentaron un incremento de 5,3[MPa] y 3,12 [MPa] respectivamente, lo que representa un aumento de resistencia de un 294% y 173% en relación al hormigón patrón.

Por tanto, se puede señalar que, si se quiere realizar un fraguado a las 8 horas, se debe ocupar la dosificación de la Muestra 6 ya que esta presenta el mayor valor de resistencia a la flexotracción (366%), comparadas con las demás muestras.

De acuerdo a estudio realizado podemos señalar que la resistencia con CAC en comparación con la muestra patrón cemento Portland presenta una mayor resistencia a la flexotracción en menos tiempo de fraguado.

Capítulo 3: Analizar el costo del proceso de elaboración de los tipos hormigón.

3.1 Análisis económico CAC

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
APU :				Unidad: M3	
Proyecto:				Cantidad: 1	
A MATERIALES					
N°	Item	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Arena Fina	m3	0,165	\$ 18.000	\$ 2.970
2	Arena Gruesa	m3	0,452	\$ 16.000	\$ 7.232
3	Gravilla	m3	0,458	\$ 21.000	\$ 9.618
4	Grava	m3	0,775	\$ 18.000	\$ 13.950
5	Cemento Aluminato de Calcio	kg	416	\$ 2.000	\$ 832.000
				SUB TOTAL	\$ 865.770
B Maquinas y Equipos					
N°	Item	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Retroexcavadora con martillo	hor.	8	\$ 13.650	\$ 109.200
2	Retiro de Escombros	m3	1	\$ 8.500	\$ 8.500
3	Placa compactadora	Unid.	1	\$ 5.546	\$ 5.546
4	Betonera Autor. Merlo M3	Unid.	1	\$ 8.739	\$ 8.739
5	Vibrador de inmersión 60mm	Unid.	1	\$ 2.200	\$ 2.200
6	Desgaste de Herramientas	%	3	-	\$ 4.026
				SUB TOTAL	\$ 138.211
C Mano de Obra					
N°	Item	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Capataz	Dia	1	\$ 25.642	\$ 25.642
2	Maestro concretero	Dia	1	\$ 20.835	\$ 20.835
3	jornales	Dia	2	\$ 14.424	\$ 28.848
4	Leyes Sociales	%	30	-	\$ 22.598
				SUB TOTAL	\$ 97.923
TOTAL					\$ 1.101.903

3.2 Análisis económico Cemento Portland

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS					
APU :				Unidad: M3	
Proyecto:				Cantidad: 1	
A MATERIALES					
N°	Item	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Arena Fina	m3	0,165	\$ 18.000	\$ 2.970
2	Arena Gruesa	m3	0,452	\$ 16.000	\$ 7.232
3	Gravilla	m3	0,458	\$ 21.000	\$ 9.618
4	Grava	m3	0,775	\$ 18.000	\$ 13.950
5	Cemento Portland	kg	416	\$ 184	\$ 76.544
				SUB TOTAL	\$ 110.314
B Maquinas y Equipos					
N°	Item	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Retroexcavadora con martillo	hor.	8	\$ 13.650	\$ 109.200
2	Retiro de Escombros	m3	1	\$ 8.500	\$ 8.500
3	Placa compactadora	Unid.	1	\$ 5.546	\$ 5.546
4	Betonera Autor. Merlo M3	Unid.	1	\$ 8.739	\$ 8.739
5	Vibrador de inmersión 60mm	Unid.	1	\$ 2.200	\$ 2.200
6	Desgaste de Herramientas	%	3	\$ -	\$ 4.026
				SUB TOTAL	\$ 138.211
C Mano de Obra					
N°	Item	Unid.	Cantidad	Precio Unitario	Total
1	Capataz	Dia	1	\$ 25.642	\$ 25.642
2	Maestro concretero	Dia	1	\$ 20.835	\$ 20.835
3	jornales	Dia	2	\$ 14.424	\$ 28.848
4	Leyes Sociales	%	30	\$ -	\$ 22.598
				SUB TOTAL	\$ 97.923
TOTAL					\$ 346.447

CONCLUSIÓN

Finalmente una vez culminado los ensayos se analizan y comparan los resultados con el fin de ver la viabilidad y confiabilidad del hormigón que contiene CAC y en qué porcentaje podrá reducir el impacto de tiempo que generan las reparaciones en las vías de alto tráfico.

Al reemplazar el cemento Portland por el CAC, a la mezcla dosificada, se puede observar que la resistencia a la flexotracción de las probetas ensayadas de cada muestra aumenta en su resistencia respecto al hormigón patrón en las diferentes horas estudiadas. Llevado a cabo los ensayos se puede determinar que los mayores valores de resistencia a la flexotracción de la muestra ocurren a las 8 horas, como promedio aumenta un 300% comparado a la muestra patrón. Por lo tanto si necesitamos realizar una reparación en pavimentos rígidos, este CAC está dando la factibilidad de cumplir el requisito mínimo (2 MPa resistencia mínima a la flexotracción, para dar paso al tránsito), la resistencia solicitada para liberar el tránsito, este cemento lo está cumpliendo a las 4 horas de fraguado en comparación con el cemento Portland que lo cumple a las 24 horas.

Considerando las largas congestiones que se provocan por la reparación de pavimentos a lo largo del país, se puede disminuir el tiempo de estas a menos de la mitad del tiempo considerado actualmente gracias a este cemento (CAC).

BIBLIOGRAFIA

- Código de Normas y EETT de Obras de Pavimentación MINVU. (2008).
- Escario, J. L. (s.f.). Caminos.
- Manual de Laboratorista Vial. (2019).
- NCh 1117. (2010).
- NCh 1239. (2009).
- NCh 148. (1968). 148.
- NCh 1498. (2012).
- NCh 170. (2016). 170.
- NCh 170. (2016). Normativa Chilena. 170.
- NCh. (2009). 1038.
- NCh 2182. (s.f.).
- NCh148. (2013).
- Norma UNE-EN 14647. (2006). Norma de Unión Europea.
- Readymix. (s.f.). Ficha Técnica Hormigones de Pavimento.
- Universidad de Chile. (2013). Revista Beauchef magazine de Ing. y Ciencias.
- Manual de Carretera, Volumen 7