

ALTERNATIVAS DE CURADO EN LOSAS DE PAVIMENTOS RIGIDOS CONSTRUIDOS EN CLIMAS DE ELEVADAS GRADIENTES TERMICAS

1.1.- GENERALIDADES

La construcción de pavimentos de hormigón destinados a soportar altas intensidades de tráfico se orienta a una optimización del conjunto de características estructurales y funcionales, combinada con una disminución de costos de construcción. Fundamentalmente esta última se consigue mediante el empleo de equipos y técnicas permitiendo un incremento de los rendimientos de puesta en obra, sin sacrificar la calidad; así como con la utilización en algunos países de conglomerantes más económicos, y que por otra parte presentan una serie de cualidades de gran interés para la ejecución de pavimentos.

Los pavimentos de concreto hidráulico o pavimentos rígidos como también se los designa, difieren de los pavimentos de asfalto o flexibles, primero en que poseen una resistencia considerable a la flexión, y segundo en que son afectados grandemente por los cambios de temperatura.

Para que los pavimentos rígidos cumplan en forma satisfactoria y económica la vida útil que de ellos se espera, es necesario que se tome en cuenta el clima de la región, entre otros factores.

Una operación esencial para la obtención de un pavimento de calidad, es la realización de un correcto curado para evitar la pérdida de agua por evaporación superficial, lo que, aparte de provocar fisuras de retracción, da lugar a una disminución de las resistencias del hormigón, en especial en la parte superior del mismo.

Asimismo, cabe destacar que mucho depende del lugar en que se construye el pavimento, es decir la temperatura, humedad, vientos y por tanto los gradientes de temperatura y humedad, esto implica los gradientes internos dentro de la losa de hormigón o concreto

Se ha demostrado que tanto la resistencia como la impermeabilidad del concreto mejoran con la edad del mismo, siempre y cuando las condiciones sean favorables para que la hidratación del cemento sea continua.

Como se conoce la hidratación del cemento continúa a un ritmo mucho más lento cuando la temperatura se encuentra por debajo de lo normal, y que no existe prácticamente acción química alguna cuando la temperatura se acerca a la congelación o está por debajo de esta.

Debido a que la temperatura afecta el ritmo de las reacciones químicas entre cemento y el agua, es necesario que en tiempo cálido se tomen algunas precauciones para evitar altas temperaturas en el concreto fresco, y al curado debe prestársele todavía más atención que en condiciones normales justamente para evitar un secado rápido y de consecuencias conocidas.

El curado involucra una reacción química (hidratación) entre el cemento y el agua, pues para obtener las resistencias esperadas del hormigón en el tiempo previsto se hace necesario un suministro de humedad adecuado, una temperatura suficientemente alta y un período apropiado de curado.

El cemento no se hidrata y el incremento de resistencia del hormigón se detiene cuando el nivel de humedad se sitúa por debajo de cierto valor.

Un buen curado es esencial, toda vez que la ganancia de resistencia depende de la hidratación del cemento y este proceso no es instantáneo sino paulatino.

Si el producto de curado se aplica muy temprano, puede reducirse o anularse también la fisuración por contracción plástica, frecuente en condiciones de viento seco y clima cálido.

La importancia de un buen curado, no se limita a la ganancia de resistencia, sino que está vinculada también a una buena durabilidad del pavimento y a una disminución de la tendencia a la fisuración.

Cuando el hormigón finalmente se seca, ya ha adquirido suficiente resistencia a la tracción como para absorber las tensiones.

Así, pues como puede notarse el concreto debe ser protegido de tal manera que la humedad no se pierda durante el comienzo del endurecimiento del mismo y debe mantenerse a una temperatura que ayude a la hidratación del cemento.

1.2.- JUSTIFICACION

Conforme pasa el tiempo, la tecnología es mayor en nuestro medio; pero si no logramos explotarla al máximo, parecería nunca haber llegado.

A partir de este punto de vista muy personal, sabemos que se nos avecinan mayores retos en la construcción de distintos proyectos, ya que los nuevos diseños contemplan la fusión de diferentes recursos, tanto humanos como logísticos, que deben trabajar en conjunto obteniendo de esta manera resultados positivos.

Como resultado de lo anteriormente expuesto, se tiene claro que debemos estar preparados para asumir diferentes problemas, que se presentan en la ejecución de obras, y más aún en aquellas que tienen un grado de dificultad superior a los convencionales.

Lo que motiva a realizar esta investigación, obedece a que con el pasar de los años, se vienen innovando diferentes alternativas de curados, para poder reducir los agrietamientos y aumentar la vida útil del pavimento rígido. Por ello se tiene que tomar muy en cuenta, las condiciones del clima para tomar precauciones que puedan presentarse en el proyecto, para el manejo del concreto además de asegurar su buen desempeño y garantizar su durabilidad.

La propagación de fisuras en la losa, se encuentra principalmente ocasionada por retracciones provocadas por temperatura, viento y humedad, y, justamente por ello es que se realizara la investigación, sobre los efectos y comportamiento que tienen las

losas de pavimentos rígidos, tomando en cuenta diferentes alternativas de curado en la etapa más crítica de la construcción, la que vendría a ser los climas con elevadas gradientes térmicas.

Al finalizar dicha investigación, se lograra identificar, cual es el proceso más conveniente para su uso en nuestro medio, habiendo analizado anteriormente la variedad de productos y metodologías de curado de pavimentos rígidos que se construyan en lugares donde el clima llegue a tener elevadas gradientes térmicas.

La importancia de un buen curado no se limita a la ganancia de resistencia, sino que está, vinculada también a una buena durabilidad del pavimento y a una disminución de la tendencia a la fisuración, por lo cual obtener el proceso de curado para pavimentos rígidos más conveniente será trascendental para el conocimiento de los estudiantes y profesionales de Ingeniería Civil, ya que con este trabajo de investigación podrán aplicar dicho proceso, en la construcción de pavimentos rígido en lugares donde el clima tenga elevadas gradientes térmicas, como por ejemplo en la localidad de Yacuiba, Bermejo o en otro extremo Iscayachi.

1.3.- PROBLEMA

Como se puede garantizar un buen comportamiento del pavimento rígido tomando en cuenta sus propiedades, características y sobre todo garantizar el curado del mismo, sabiendo que gran parte de los pavimentos rígidos tanto en carreteras como en vías urbanas tienen como una de las patologías más frecuentes el fisuramiento debido a curados deficientes construidos en lugares de gradientes térmicas elevadas y como consecuencia un fisuramiento prematuro en el pavimento.

1.4.- OBJETIVOS

1.4.1.- OBJETIVO GENERAL

- ✓ Realizar una investigación sobre los efectos que tiene el proceso de curado considerando varias alternativas de curado de manera que sean tomadas en cuenta en la situación más crítica que se presenta en climas de elevadas gradientes térmicas, que nos permita identificar cual es el proceso más conveniente para su uso en nuestro medio.

1.4.2.- OBJETIVOS ESPECIFICOS.-

- ✓ Estudiar los aspectos generales del pavimento rígido.
- ✓ Analizar la influencia de la temperatura en el proceso constructivo del pavimento rígido.
- ✓ Analizar el proceso de curado de pavimentos rígidos y la evaluación del comportamiento del pavimento en este proceso.
- ✓ Realizar los ensayos de laboratorio con probetas, simulando elevadas gradientes térmicas para evaluar el comportamiento.
- ✓ Utilizar varias alternativas de curado en las probetas de ensayo, siendo estas sometidas a diferentes temperaturas.
- ✓ Establecer un análisis de los resultados al finalizar la investigación para determinar las correspondientes conclusiones y recomendaciones.

1.5.- ALCANCE

El alcance de este estudio comprende los siguientes puntos:

En el primer capítulo se identificó el problema, el cual trata de los fisuramientos que sufren los pavimentos rígidos producidos a causa de un curado deficiente, que son construidos en lugares con elevadas gradientes térmicas, por lo que con ayuda de la presente investigación, se pretende dar la mejor alternativa, para que en un futuro dicha solución pueda ser aplicada por profesionales de Ing. Civil.

Es por eso, que dentro del presente proyecto, se realizó con el principal objetivo de investigar sobre los efectos que tiene el proceso de curado, considerando para eso varias alternativas de curado, tomando en cuenta la variedad de productos y metodologías que existen, haciendo hincapié en la situación más crítica que se presentan en climas de elevadas gradientes térmicas.

El segundo capítulo se inicia con el análisis de los aspectos generales del pavimento rígido, en él se estudió los tipos de pavimentos rígidos que existen como así también las características y propiedades que tienen, los materiales que lo componen y el proceso de ejecución del mismo, para poder ser aplicado más adelante.

Asímismo en su tercer capítulo se explica lo que respecta a la elaboración, colocación y protección del concreto en climas calurosos, dentro del cual se tomara en cuenta los efectos del clima caluroso en las propiedades del concreto, su producción y entrega.

Se desarrolla como aspecto central de la investigación en el cuarto capítulo, todo lo que concierne al curado del pavimento rígido, los tipos de curado existentes a la vez, el proceso de curado, las técnicas más adecuadas, la influencia que tiene el curado sobre las propiedades del hormigón, una metodología de control de calidad para

poder tener un buen curado, la valoración que se le da al pavimento con referencia al curado y por último se mencionaran las ventajas y límites que tienen los diferentes productos de curado.

La importancia de este estudio, es la precaución que se debe tomar en la construcción, para evitar posibles deterioros en el pavimento rígido, así poder en base a ello tomar decisiones correctas a la hora de elegir la opción más adecuada para la construcción de los mismos.

Es importante conocer el comportamiento de los pavimentos rígidos, para evitar en un futuro problemas estructurales en magnitud.

Se procedió a realizar los ensayos correspondientes en laboratorio, para lo cual se realizó la caracterización de materiales (agregados, cemento, agua y aditivos), para así ejecutar la dosificación de hormigón y posteriormente se procedió el vaciado de probetas de prueba en el laboratorio.

En este proceso se analizó como se ve afectada la resistencia a compresión de las probetas por variabilidad de tipo de curado y paralelamente por variabilidad de gradiente térmica, finalmente se pudo llegar a determinar la posibilidad de mitigar las fallas del pavimento rígido, que son ocasionadas por mal curado del hormigón, escogiendo la mejor alternativa de curado para el pavimento rígido.

Por lo que con los resultados obtenidos de la práctica referida, se llegó a una conclusión evidente del problema.

1.6.- MEDIOS Y METODOLOGIA

1.6.1. MEDIOS

Los medios a utilizados en el trabajo fueron:

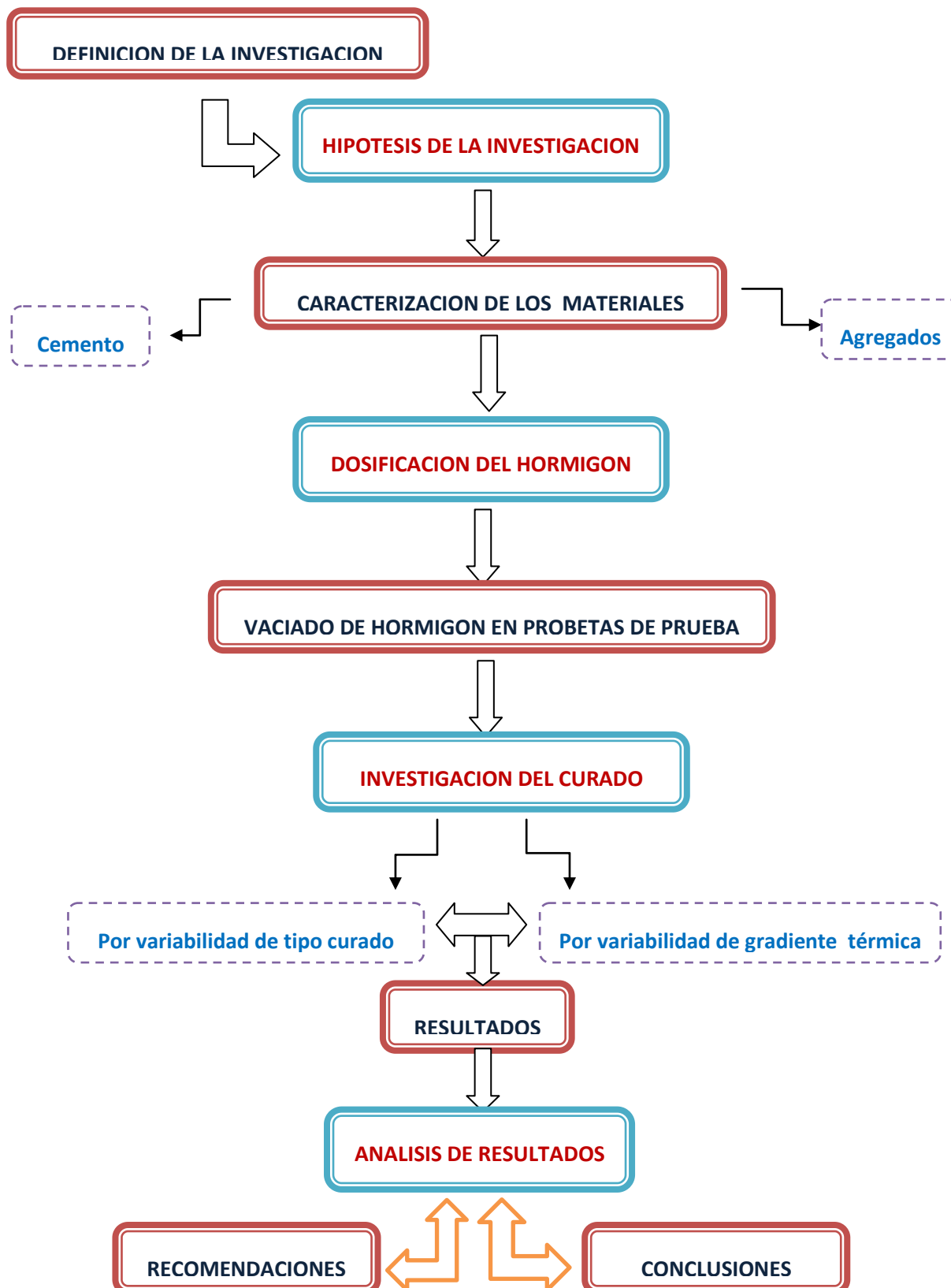
❖ Medios bibliográficos:

La utilización de medios bibliográficos utilizados para la realización de los capítulos I, II, III, IV y V la constituyen una gran variedad de libros, además de la investigación a través del internet, información proporcionada por el Instituto de Cemento y Hormigón de Bolivia y la bibliografía mencionada más adelante.

❖ Medios de laboratorio:

En cuanto a la parte de la aplicación práctica se la realizo en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, en el cual se utilizaron todos los equipos e instrumentos necesarios para la caracterización de los materiales (agregados, cemento, agua, aditivos), la dosificación del hormigón, vaciado de las probetas de prueba, el respectivo curado y la rotura a compresión de las respectivas probetas.

METODOLOGIA



1.6.2. METODOLOGIA

Este proyecto de investigación se lo realizo en las instalaciones del laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

La primera etapa de laboratorio fue la caracterización de los materiales utilizados en la construcción de un pavimento rígido.

Los ensayos realizados para la caracterización de los materiales fueron:

a) Arena

- Granulometría
- Peso específico
- Peso unitario

b) Grava

- Granulometría
- Peso específico
- Peso unitario
- Desgaste

c) Cemento

- Peso específico
- Finura

Una vez caracterizados los materiales se pasó a realizar la dosificación respectiva para la resistencia requerida del pavimento de hormigón simple, para lo cual se realizó la dosificación de 10 probetas de ensayo realizadas por el método ACI-121.

Una vez determinada la dosificación adecuada se pasó a realizar el fin de la investigación, que viene a ser el curado del pavimento rígido en elevadas gradientes térmicas, para lo cual se realizaron 45 probetas, de las cuales se utilizaron 15 probetas para el curado en temperaturas bajas, 15 en condiciones normales y las últimas 15 en temperaturas altas.

En este proceso se precisó generar condiciones ambientales de temperaturas bajas, las cuales se generaron con la ayuda de un freezer. Por otro lado se precisó generar también temperaturas elevadas, para lo cual se necesitó la ayuda del horno de laboratorio.

Además de elaborar la investigación por variabilidad térmica también se estudió el comportamiento de las probetas de ensayo por variabilidad del tipo de curado.

Una vez finalizado todo el proceso de investigación, se procedió a analizar todos los resultados obtenidos, para así determinar cuál ha sido el mejor proceso de curado en elevadas gradientes térmicas.

CAPITULO II

2. ASPECTOS GENERALES DEL PAVIMENTO RIGIDO

2.1.DEFINICION

Un pavimento puede definirse como la superestructura de la obra vial que hace posible la circulación expedita de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía requeridas por el usuario y previstas por el proyecto. En general, está constituido por un conjunto de capas superpuestas, compuestas por materiales seleccionados, procesados o sometidos a algún tratamiento, las cuales quedan comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento y cuyo comportamiento depende de la calidad y el tipo de los materiales, de su espesor y disposición en la estructura de los pavimentos así como de la calidad de la construcción.

En el caso particular del pavimento rígido, el pavimento propiamente dicho está constituido por una losa relativamente delgada, apoyada sobre una subbase, y en ocasiones directamente sobre la capa subrasante, especialmente cuando este es de muy buena calidad y el tránsito no es muy intenso.

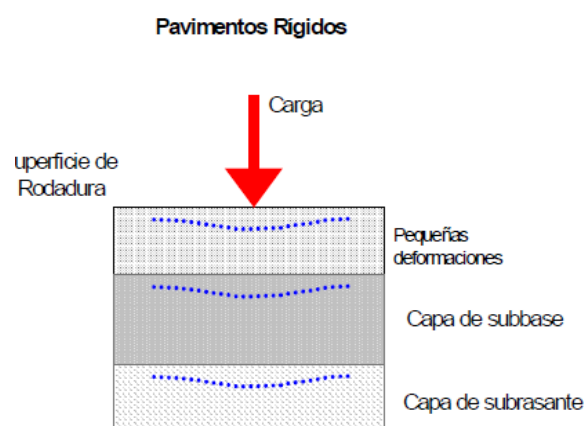


Figura 1.1. Capas de un Pavimento Rígido

Los elementos que constituyen los pavimentos rígidos son:

- Losa de concreto hidráulico.- constituyen la parte fundamental del pavimento rígido, debiendo estar capacitadas para resistir los esfuerzos producidos por el tránsito y los efectos del intemperie, y proporcionar además una superficie de rodamiento segura, cómoda y de características permanentes bajo el efecto combinado del tránsito y de los factores ambientales durante su vida útil, de manera que solo deban ser necesarias algunas actuaciones locales y esporádicas de conservación, de poca importancia y costo.
- Subbase.- tiene como función principal controlar los cambios volumétricos de la subrasante e incrementar su módulo de reacción. Constituye una plataforma estable de trabajo durante la construcción del pavimento y en ocasiones puede constituir una capa drenante. Se trata de un elemento importante para garantizar la uniformidad del soporte de las losas, y se construye por lo general con materiales granulares no cementados, los cuales, cuando el tránsito llega a ser muy pesado e intenso, se hace necesario estabilizar, generalmente con cemento portland, para evitar que bajo su acción sufran erosiones indeseables, recurriéndose a subbases de grava-cemento y de concreto pobre. Por otra parte cuando el tránsito es ligero y el material de la capa subrasante es de buena calidad, se puede suprimir la subbase, apoyando las losas directamente sobre la subrasante. Debe mencionarse que eventualmente a esta capa se la denomina como base, por su posición inmediatamente bajo la losa.
- Capa Subrasante.- constituye la capa superior de la terracería y puede estar formada por el propio terreno natural adecuadamente compactado y perfilado, o por material seleccionado procedente de un banco, si el material natural es inadecuado. Constituye el elemento de apoyo del pavimento, por lo que debe resistir adecuadamente los esfuerzos que le son transmitidos, aun en condiciones severas de humedad.

2.2.TIPOS DE PAVIMENTOS RIGIDOS

Los pavimentos rígidos también se subdividen en varios tipos:

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

La separación entre juntas normalmente varía entre cuatro a seis metros, y para favorecer el efecto de transferencia de cargas entre losas contiguas o para asegurar el efecto de transferencia de carga entre ellas, las juntas se construyen con forma especial (machihembrada) cuando sus longitudes o bien serradas para debilitar el espesor de la losa y provocar fractura controlada, generándose la transferencia de cargas por el efecto de fricción y trabazón mecánica entre sus cargas. Además, para mantener unidas las losas contiguas y asegurar el efecto de transferencia de carga entre ellas, especialmente bajo la acción de los ejes de vehículos pesados, se disponen para juntas metálicas, de varillas lisas para juntas transversales y de varillas corrugadas llamadas barras de sujeción en las juntas longitudinales.

En algunos diseños se omiten estos elementos pero a cambio de ello, se construyen subbases rígidas y no erosionables como concreto pobre, gravamento, etc., y se restringe la longitud de las losas a cuatro metros.



Figura 1.2.1. Pavimento rígido de concreto hidráulico

- b. **Losas de concreto reforzado.**- Estas losas cuentan con un refuerzo metálico a base de malla de alambre electro soldado o de varilla corrugada, colocada preferentemente en el tercio superior del espesor de la losa, con la finalidad de mantener unidas las fisuras transversales que inevitablemente aparecen en las

losas largas; de esta manera se incrementa la separación entre juntas reduciendo en consecuencia su número, lo cual es ventajoso por reducir problemas que las juntas traen consigo. La cantidad de acero de refuerzo es proporcional a la longitud de las losas, por lo general se usa de 2 a 3Kg/m² para losas de ocho a quince metros de largo y no es suficiente reducir el espesor de las losas. Este tipo de losas ha entrado en desuso por el costo elevado que presenta, sin embargo se las realiza en casos especiales, generándose más bien el uso de losas de concreto reforzado continuo, en el cual se suprimen las juntas transversales a costa de aumentar la cantidad de acero de refuerzo de alto límite elástico, siendo esta del orden de 10Kg/m².

Estos pavimentos se usan en autopistas con tránsito muy pesado, en las cuales se desea una conservación prácticamente nula. La suspensión de las juntas transversales además mejor sustancialmente la calidad de rodamiento.



Figura 1.2.2. Pavimento rígido de concreto reforzado

- c. **Losas de concreto presforzado y postensado.**- se han ensayado varios sistemas de preesfuerzo y postensado con el fin de llegar a soluciones de pavimentos de espesor reducido, gran elasticidad y capacidad de soporte, y reducción de juntas. Gracias al sistema de presfuerzo se han podido construir losas de más de 120m de longitud, con una reducción de 50 por ciento del espesor de la losa. Sin embargo, pese a los esfuerzos realizados para desarrollar esta técnica, en carreteras se han presentado más dificultades que ventajas. Ha tenido en cambio más aplicación en aeropuertos, en los cuales ha habido casos de un comportamiento excelente, tanto en pistas como en plataformas.
- d. **Losas de concreto compactado con rodillo.**- Se trata de un concreto hidráulico con bajo contenido de agua, aunque con un contenido de cemento similar al el

concreto vibrado. En este caso, la mezcla puede colocarse con extendedoras de concreto asfáltico, y a continuación debe compactarse enérgicamente con rodillos vibratorios y neumáticos. Actualmente se han desarrollado máquinas extendedoras especiales que producen una elevada precompactación del concreto, reduciendo la participación del equipo de compactación. En caso de carreteras principales, se recomienda formar juntas transversales a intervalos de 6 a 7m. Sin embargo, como la superficie presenta irregularidades, no resulta apropiada funcionalmente para carreteras de altas especificaciones, por lo que se requiere una capa de concreto asfáltico como protección y superficie de rodamiento, la cual puede eventualmente experimentar a reflexión de grietas, que conviene impedir o minimizar.



Figura 1.2.3. Pavimento rígido compactado con rodillo

- e. **Sobrelosas de concreto hidráulico.**- Constituyen una aplicación en la rehabilitación de pavimentos, como una forma de prolongar su vida de servicio, actuando como un elemento de refuerzo estructural y proporcionando una adecuada superficie de rodamiento.

2.3.CARACTERISTICAS Y PROPIEDADES EN LOS PAVIMENTOS RIGIDOS

Debido a que el módulo de elasticidad del concreto es mucho mayor que el correspondiente a los materiales que sirven de apoyo, la mayor parte de la capacidad de carga del pavimento procede de la propia losa, efecto que es conocido como acción de viga. Las losas de concreto hidráulico deben resistir, además de los esfuerzos provocados por el tránsito, los producidos por cambios de temperatura y humedad, así como por cambios volumétricos de los materiales que le sirve de apoyo. Las acciones

anteriores tienden a deformar las losas produciendo esfuerzos de intensidad muy variable.

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

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

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

Adicionalmente, debe hacerse hincapié en las características estructurales y funcionales antes descritas y previstas en el proyecto dependen en gran parte de las técnicas y de los procesos constructivos, así como de la supervisión y del control de la calidad, siendo por lo tanto muy importante que estos sean los adecuados para alcanzar a satisfacción el cumplimiento de dichas características.

El pavimento rígido se compone de losas de concreto hidráulico con un módulo de ruptura, en algunas ocasiones presenta un armado de acero, tiene un costo inicial más elevado que el flexible, su periodo de vida varía entre 20 y 40 años; el mantenimiento que requiere es mínimo y solo se efectúa (comúnmente) en las juntas de las losas.

2.4.MATERIALES COMPONENTES DEL PAVIMENTO RIGIDO



Figura 1.4.1. Materiales componentes del Hormigón

- **HORMIGÓN:** El hormigón hidráulico estará conformado por una mezcla homogénea de Cemento Portland, agua, agregados finos y gruesos, y aditivos si fueran necesarios.

REQUISITOS DEL HORMIGÓN HIDRÁULICO PÓRTLAND PARA PAVIMENTOS

- **Cemento Portland:** el cemento deberá satisfacer los requisitos establecidos en el artículo 901.01, para los cementos Portland tipo I, siempre y cuando el Cartel de Licitación no indique otra cosa.
- **Agregado grueso:** el agregado grueso deberá cumplir los siguientes requisitos:

Graduación: deberá ajustarse a lo establecido en la siguiente tabla, según sea la graduación especificada en el Cartel de Licitación.

Todos los requisitos que deben cumplir los materiales por incorporar como parte de diferentes elementos que integran los caminos están siendo especificados por la Administración Boliviana de Caminos en el Manual técnico para el diseño de carreteras de Bolivia.

GRADUACIÓN DE AGREGADO GRUESO PARA MEZCLAS DE HORMIGÓN HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Se realizarán de acuerdo con las Normas Bolivianas siguientes:

Toma de muestras	595 91
Terrones de arcilla	601 94
Carbón y lignito	609 91
Material que pasa el tamiz 74 u (N° 200)	612 91
Impurezas orgánicas	609 91
Granulometría	597 91

TAMIZ	% POR PESO QUE PASA POR LOS TAMICES DE MALLA CUADRADA (AASHTO T-27 Y T-11)	
	DESIGNACIÓN DE LA GRADUACIÓN	
	A	B
37,5 mm	100	---
25,0 mm	95 – 100	100
19,0 mm	---	90-100
12,5 mm	25-60(5)	---
9,5 mm	---	20-55 (5)
4,75 mm (N° 4)	0 – 10 (5)	0 - 10 (5)
2,36 mm (N° 8)	0-5 (4)	0-5 (4)

Tabla 1.4.1. Tabla de especificaciones de la granulometría de Agregado Grueso
AASHTO T-27 Y T11

Notas: Los procedimientos estadísticos no se aplican a los porcentajes que pasan 100 y 95-100 por ciento.

Las desviaciones admisibles (\pm) de los valores se indican entre paréntesis ()

- Pérdida por abrasión, AASHTO T-96.
35 máximo
 - Porcentaje que pasa por el tamiz N° 200, AASHTO T-11.
0,5%, máximo
 - Terrones de arcilla y partículas friables AASHTO T-112.
3 %, máximo
- **Agregado fino:** el agregado fino deberá cumplir los siguientes requisitos:

Graduación: Deberá estar conforme con lo establecido en la siguiente tabla

GRADUACIÓN DE AGREGADO FINO PARA MEZCLAS DE HORMIGÓN HIDRÁULICO PARA PAVIMENTOS

Los métodos de ensayo y tomas de muestra se realizarán de acuerdo con las Normas Bolivianas siguientes:

Toma de muestras	595 91
Terrones de arcilla	601 94
Carbón y lignito	609 91
Material que pasa el tamiz 75 u (N° 200)	612 91
Impurezas orgánicas	609 91
Granulometría	597 91

TAMIZ	% POR PESO QUE PASA POR LOS TAMICES DE MALLA CUADRADA (AASHTO T-11 Y T-27)
9,5 mm	100
4,75 mm (N° 4)	95-100
1,18 mm (N° 16)	45-80(4)
300 μm (N° 50)	10-30(3)
150 μm (N° 100)	2-10(2)

Figura 1.4.2 Tabla de especificaciones de la granulometría de agregado fino
AASHTO T-11 Y T-27

Las desviaciones admisibles (\pm) de los valores se indican entre paréntesis ().

- **Agua:** El agua que se emplee para la mezcla o para el curado del pavimento deberá estar limpia y libre de aceites, ácidos, azúcar, materia orgánica y cualquier otra sustancia perjudicial para el pavimento

terminado. En general, se considera adecuada el agua potable apta para el consumo humano.

Para que el agua sea utilizable deberá cumplir con los requisitos de las Normas Bolivianas 587 91; 588 91; 636 94; 637 94 y 638 94.

Su función es permitir la hidratación del cemento y hacer manejable la mezcla

- Debe ser limpia y libre de cualquier sustancia perjudicial al pavimento terminado.
- En general, se considera adecuada el agua que sea apta para el consumo humano.

Requisitos		Unidad	Mínimo	Máximo
Residuo sólido		mg/dm ³		5000
Materia orgánica, expresada como oxígeno consumido		mg/dm ³	-----	3
PH			5.5	8
Sulfato, expresado como SO ₄		mg/dm ³	-----	1000
Cloruro expresado como Cl	Para emplear en hormigón simple	mg/dm ³	-----	2000
	Para emplear en hormigón convencional	mg/dm ³	-----	700
	Para emplear en hormigón pretensado	mg/dm ³	-----	500
Hierro, expresado como Fe		mg/dm ³	-----	1

Tabla 1.4.3. Requisitos químicos para el agua de amasado del Concreto Hidráulico

- **Aditivos:** Se podrán usar aditivos, para modificar las propiedades del hormigón, con el fin de que sea más adecuado para las condiciones particulares del pavimento por construir. Su empleo deberá definirse por

medio de ensayos efectuados antes de su aplicación en la obra, y el certificado de calidad del fabricante, con las dosificaciones que garanticen el efecto deseado, y no representen peligro para la armadura que pueda tener el pavimento.

- Acelerantes, que aceleran tanto el fraguado como la resistencia a temprana edad.
- Plastificantes retardadores
- Inclusores de aire (ASTMC1017), incrementan la resistencia ante ciclos de congelamiento y deshielo y contribuyen en la trabajabilidad y la resistencia a los sulfatos y a la reacción sílice-álcalis.

Existen otros productos no incluidos en la anterior clasificación: impermeabilizantes, repelentes de agua, colorantes, superplastificantes, etc.

2.5. EJECUCION EN PAVIMENTOS RIGIDOS

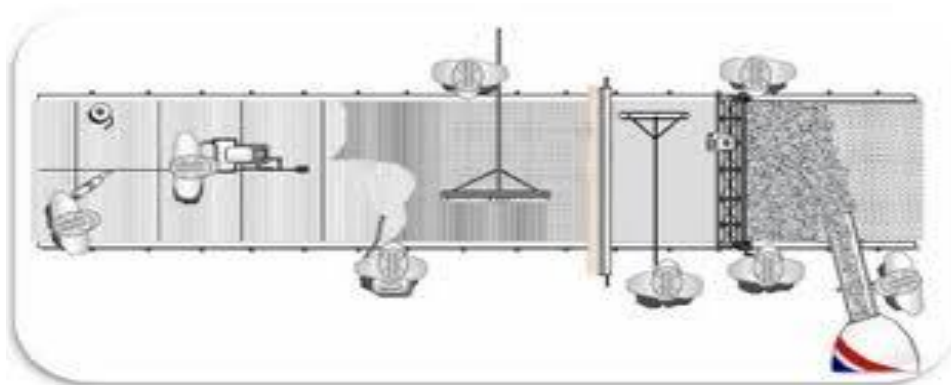


Figura 2.5.1 Proceso de ejecución de un pavimento rígido

2.5.1. ETAPAS DE LA CONSTRUCCION DE UN PAVIMENTO DE HORMIGON

En la etapa de la construcción de un pavimento de hormigón se pueden distinguir las siguientes etapas:

➤ OPERACIONES PREVIAS

En esta etapa se incluyen todas las actividades que deben haberse realizado o al menos comenzado antes de empezar la ejecución propiamente dicha del pavimento de hormigón.

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

- a) Planificación general.- Esta actividad se la realiza antes de comenzar la ejecución de otra actividad; con la finalidad principal, de poder evitar interrupciones y situaciones irreversibles durante la construcción que conllevarían simultáneamente a una falta de calidad y a un encarecimiento de la obra.
- b) Localización de materiales y ensayos previos.- La elección de un yacimiento adecuado y el proyecto de instalación que produzca los agregados al ritmo requerido y con la calidad necesaria o bien la elección del suministrador, sientan las bases para una buena ejecución.

Los ensayos previos, tanto para la selección de los agregados, cemento y aditivos, como para el estudio de las dosificaciones, son simultáneos en esta fase. Dichos ensayos, junto con los condicionantes económicos y los plazos para obtener las resistencias a partir del tipo de cemento que se vaya a utilizar, permiten fijar la fórmula de trabajo del hormigón.

Algunas de las condicionantes generales aplicadas son:

- ✓ Contenido de cemento no inferior a 300Kg/m^3
 - ✓ Consistencia de 2 a 6 cm, medida en el cono de abrams.
 - ✓ Contenido de aire ocluido no superior al 6%, y no inferior al 4% en zonas heladas.
- c) Estudio de Dosificación.- Una vez determinados todos los ensayos correspondientes de los materiales y determinada la resistencia que se quiere alcanzar se procede a realizar el estudio de la dosificación de los materiales.
 - d) Instalación de plantas y equipos
 - e) Acopio y Abastecimiento.- Esta es otra de las operaciones que se debe realizar antes de la fabricación del hormigón, aunque luego prosiga a lo largo de la misma.

Debido a los altos rendimientos de la pavimentación, los consumos de agregados, cemento, etc., son muy importantes, por esta razón conviene tener acopiado, antes de iniciar la ejecución propiamente dicha del pavimento, un porcentaje importante del volumen total de agregados que, dependiendo de la seguridad del suministro, es normal que supere el 50% del total.

- f) Ejecución de la Sub-base.- La sub-base debe estar terminada, al menos en parte, para poder comenzar la construcción del pavimento, puede suceder, dependiendo de los medios de que se disponga, del tamaño de la obra, que convenga terminar toda la base antes de empezar con el pavimento, lo que siempre hay que asegurar es que haya un desfase suficiente entre ambas unidades de obra para que no se interrumpa ninguna de ellas.
- g) Colocación de elementos de guiado y encofrado.- Esta es una operación que debe considerarse previa a la ejecución del pavimento, aunque también se prolonga durante toda la puesta en obra del mismo.

➤ **FABRICACION DEL HORMIGON**



Figura 2.5.2. Dosificación del Hormigón

El hormigón puede ser producido en una central de hormigón preamasado o bien en una planta montada ex profeso para la obra, lo cual puede ser prácticamente imprescindible si la producción ha de ser superior a $100\text{m}^3/\text{h}$.

Un cierto porcentaje del suministro y acopio de los agregados es simultáneo al proceso de fabricación del hormigón, por lo que es importante una buena ejecución de los acopios con el fin de obtener una gran homogeneidad.

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

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

En general la dosificación de los componentes sólidos debe ser ponderal mientras que los líquidos pueden dosificarse por peso o volumen.

La producción de hormigón de la planta, debe estar adecuada a la velocidad de avance de la pavimentadora, la cual suele estar comprendida entre 0.6 y 2 m/minuto. En zonas con pendientes importantes es conveniente no rebasar 1-1.2

m/min como los rendimientos horarios reales suelen ser del orden de $40 \times C$, donde C es la capacidad de la amasadora en m^3 , es frecuente tener que utilizar dos amasadoras gemelas.

➤ **TRANSPORTE DEL HORMIGON**



Figura 2.5.3. Transporte del Hormigón

El procedimiento más corriente es el transporte en camión basculante convencional, por su simplicidad y por la facilidad de reposición o modificación del equipo de transporte teniendo, además, la ventaja de su mayor economía.

El transporte con camiones amasadores solo es admisible, en general, para obras en las que no se precisen rendimientos superiores a los 60-80 m³/h, debido, entre otras razones a la lentitud de descarga del hormigón.

La descarga en la extendedora se hace simplemente basculando los distintos camiones a distancia regulares delante de la pavimentadora. Para facilitar la operación de esta última es muy conveniente realizar un pre extendido del material descargando este en la tolva de una extendedora asfáltica. En su defecto, debe como mínimo utilizarse una pequeña pala cargadora o una retroexcavadora que realice a lo ancho de la sección una mejor distribución del hormigón vertido directamente sobre la base.

➤ COLOCADO DEL HORMIGON



2.5.3.1. Colocacion del Hormigon



Fig

Fig. 2.5.3.1. Colocacion del Hormigon

Sobre la sub-base granular, se colocará el hormigón inmediatamente elaborado en la obra o recién llegado de la planta en camiones hormigoneras, en descargas sucesivas distribuyéndolo en todo el ancho de la calzada o faja a hormigonar y con un espesor tal que al compactarlo resulte el indicado para el firme en los planos del proyecto.

El hormigón no presentará segregación de sus materiales componentes, y si la hubiera se procederá a su remezclado a pala hasta hacerla desaparecer, cuando el hormigón sea elaborado fuera de la obra, durante su descarga será debidamente guiado para evitar su segregación y facilitar su distribución uniforme sobre la subrasante.

El hormigón se colocará de manera que requiera el mínimo de manipulación y su colocación se llevará a cabo avanzando en la dirección del eje de la calzada y en una única capa. El hormigón se colocará firmemente contra los moldes, de manera de lograr un contacto total con los mismos, compactándolo adecuadamente, mediante el vibrado portátil de inmersión.

No se permitirá el uso de rastrillos en la distribución del hormigón y la adición del material, en los sitios en que hiciere falta, solo se hará mediante el uso de palas.

El hormigón deberá presentar la consistencia requerida de acuerdo con el tipo de compactación, quedando absolutamente prohibida la adición de agua al mismo.

Toda mezcla que presente signos evidentes de fragüe será desechada y no se permitirá su ablandamiento mediante la adición de agua y cemento.

El hormigón deberá estar libre de sustancias extrañas, especialmente de suelo, a este fin, los operarios que intervengan en el manipuleo del hormigón y sus operaciones posteriores, llevarán calzado adecuado que permanecerá limpio, libre de tierra u otras sustancias y que pueda ser limpiado en los casos que arrastren tales elementos.

La distribución del hormigón la realizará el Constructor, coordinándola con las restantes tareas relativas a la construcción del firme, de manera que todas ellas se sucedan dentro de los tiempos admisibles y produzcan un avance continuo y regular de todo el conjunto.

Deberá tomarse provisiones en el proyecto en caso de que sea necesaria la construcción de sobre anchos en curvas, cuando el trabajo de colocado del hormigón se lo realice con pavimentadora deslizante que no pueda ejecutar este trabajo, deberá dejarse barras de amarre para un posterior vaciado del sobre ancho especificado en proyecto, con la utilización de moldes.

➤ **ACABADO DEL HORMIGON**



Figura 2.5.4. Acabado del Pavimento Rígido

Una vez extendido el hormigón, además de algunos posibles retoques artesanales para quitar imperfecciones localizadas, y que hay que tratar de reducir al mínimo, es preciso dotar al mismo de una terminación superficial que garantice la obtención de más adecuadas cualidades antideslizantes.

Cuando el hormigón está todavía en estado fresco podemos terminar el trabajo mediante los siguientes procesos: fratasado, pulimentado a edad temprana, cepillado y estriado

El fratasado es el tratamiento más habitual en lo que a naves industriales se refiere. El efecto que produce compactando y alisando la superficie es debido a la acción de las fratasadoras mecánicas, también. Estos constan de unas paletas metálicas que forman una especie de hélice. Tienen distintos grados de inclinación lo que varía el efecto sobre el pavimento del hormigón. La fratasadora realiza tres acciones:

Hunde los áridos gruesos por lo que la capa superficial consiste en un mortero de cemento; si lleva la capa de rodadura adecuada formada por arena de sílice y cemento se adquirirá una gran dureza. También se puede pigmentar para alcanzar un mayor efecto decorativo, alisa la superficie eliminando defectos y pequeñas irregularidades. Por último compacta la superficie.

Para realizar todo el proceso, primero debe ser vertido el hormigón y correctamente extendido, posteriormente se realizarán pasadas con una regla vibrante, que alisará la superficie. Más tarde, cuando en el hormigón no se marque huella de más de 5 milímetros, y el agua de exudación haya desaparecido procederemos a trabajar con la fratasadora mecánica.

Otra alternativa, consiste en el pulimentado, para ello, en lugar de realizar el trabajo en el primer día del vertido del hormigón, cubriremos el pavimento con una lámina de polietileno, y en una media de tres días, cuando el hormigón tenga resistencia necesaria para que las partículas no sean arrancadas, realizaremos el trabajo con una máquina de pulimentar, que consta de unos discos de varios bloques abrasivos.

➤ **CURADO**

El curado es el tratamiento o protección que se da al concreto durante su periodo de endurecimiento, tiene como objetivo mantener en el concreto un contenido de agua y un nivel de temperatura satisfactorios durante un tiempo definido, inmediato a su colocación y acabado, para asegurar un alto grado de hidratación del cemento y proteger al concreto contra los fenómenos asociados con la contracción, debida a la pérdida de humedad o a un cambio brusco de temperatura.

Es especialmente importante que el curado sea adecuado durante las primeras horas después de la colocación del concreto, puesto que la resistencia que se pierda por temperatura y humedad inadecuadas durante ese lapso no se podrá recuperar con el curado subsiguiente. Los pavimentos que se curan desde temprana edad en forma apropiada alcanzan generalmente resistencias altas, lo que a su vez los hace más resistentes al intemperismo y más durables que aquellos curados deficientemente.

Con cualquier método de curado que se utilice se pueden obtener resultados satisfactorios si se aplica con oportunidad y correctamente. El momento en el que se debe efectuar el curado es inmediatamente después de haber terminado las operaciones del acabado con texturizado y cuando la película de agua que da el brillo superficial al concreto está a punto de desaparecer.

Los materiales comúnmente empleados para curar las losas son los siguientes:

- *Membrana líquida, de pigmentación blanca*
- *Papel o plásticos impermeables, como son los rollos de polietileno*
- *Lienzos de algodón o de yute humedecidos*

Normalmente, los primeros son los más utilizados sobre todo en carreteras.

La eficiencia y la duración del tiempo de curado, así como las propiedades finales del concreto, son función directa de la temperatura de este último al momento de curar. En situaciones de climas extremos, se tienen que tomar en cuenta medidas adicionales para proporcionar un curado adecuado.

➤ **JUNTAS**

Las juntas en los pavimentos de concreto pueden clasificarse, de acuerdo a sus funciones, en tres tipos fundamentalmente: De contracción, de construcción y de expansión, constituyendo un sistema que tiene los siguientes propósitos:

- Controlar los inevitables agrietamientos del concreto en los sentidos longitudinales y transversales.
- Permitir los movimientos de expansión y contracción del concreto, sin menoscabo de las adecuadas condiciones de transferencia de cargas
- Dividir al pavimento en porciones de dimensiones prácticas para su construcción y convenientes para su correcto desempeño.

En su diseño deberán tenerse en cuenta las condiciones que aseguran la transferencia de carga deseada, así como permitir la colocación de un material de sello que impida la infiltración de agua y penetración de materiales extraños que restrinjan el libre movimiento de las losas.

El diseño y la construcción de las juntas, son factores importantes para su correcto desempeño, en su diseño deben tenerse en cuenta las siguientes consideraciones:

- Condiciones ambientales, tales como las variaciones en la temperatura y humedad, que inducen movimientos en las losas y provocan concentraciones de esfuerzos, alabeos y ondulaciones.
- Espesor de la losa, lo cual afecta los niveles de esfuerzos y deflexiones.
- Transferencia de cargas, necesarias para el correcto comportamiento del pavimento y que depende del tipo de junta considerado.

- Tránsito, no solamente en su magnitud, sino también en su ubicación con respecto a las juntas.
- Materiales constitutivos del concreto, que deben considerarse en cuanto a sus propiedades de expansión térmica.
- Tipo de subbase, desde el punto de vista de soporte que proporcionan a las losas, como de la magnitud de la fuerza de fricción generada entre las superficies en contacto de losas y subbase.
- Características del sello, cuya definición depende del espaciamiento entre juntas, factor de forma, etc.
- Características del acotamiento, las cuales afectan la capacidad de transferencia de carga de las juntas.

Tipos de juntas

- **Juntas transversales de contracción.-** Tienen como objetivo controlar el agrietamiento transversal del concreto, por lo que su separación, diseño y construcción son fundamentales para el correcto desempeño del pavimento.

Por lo general, la separación de estas juntas decrece en la medida en que se incrementa el coeficiente térmico de los agregados, los cambios de temperatura o el coeficiente de fricción de la subbase.

Como recomendación general, la separación de juntas, expresada en pies, no debe ser mayor que el doble del espesor de la losa expresado en pulgadas para subbases no tratadas y 1.75 veces el espesor de subbases tratadas.



Figura 2.5.5. Juntas Transversales de contracción

- **Juntas transversales de construcción.-** Son juntas a tope, de manera que se requieren pasa juntas lisas para proporcionar la transferencia de carga necesaria, manejando para su diseño las recomendaciones establecida para juntas transversales de contracción con pasa juntas.

De ser posible, se deben colocar en la posición de una junta de contracción transversal; si esto no se puede, su ubicación deberá hacerse dentro del tercio medio de la longitud de una losa y siempre perpendicularmente a la línea central, aun cuando las juntas de contracción se hayan diseñado sesgadas.

Deberán ser construidas cuando hay interrupciones de más de 30 minutos.

En este tipo de juntas, deben utilizarse dispositivos de transferencia de carga, los cuales serán de acero A-44-28-H, lisas. Con un largo de 460 mm y ubicadas cada 300 mm.

- **Juntas transversales de expansión.-** Este tipo de juntas no se requieren en carreteras, sino se las construye únicamente en la colindancia con estructuras fijas, tales como puentes y en las intersecciones con otros pavimentos de concreto.

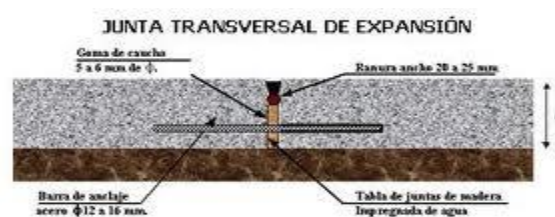


Figura 2.5.6. Junta Transversal de expansión

- **Juntas longitudinales de contracción.-** Estas juntas se requieren para determinar los carriles de circulación cuando el concreto se coloca abarcando dos o más carriles en una sola operación. Estas juntas son necesarias cuando el ancho de las losas es mayor a 4.5m; se forman efectuando un corte con sierra hasta una profundidad de un tercio del espesor de la losa y de 3 a 9mm de ancho, formando además una caja de 6 a 9 mm de ancho y 30 mm de profundidad. La transferencia de carga se obtiene por la trabazón mecánica generada por la grieta provocada, sin embargo debe mantenerse este efecto colocando barras corrugadas.

- **Juntas longitudinales de construcción.**- Este tipo de juntas se utiliza para unir carriles que se construyen individualmente, incluyendo los cotamientos cuando estos son de concreto. La transferencia de carga se logra mediante juntas de llave o barras corrugadas, formando la llave con perfiles trapezoidales o curvos, ubicada a la mitad del espesor. No se recomienda cuando las losas son menores de 25 cm.

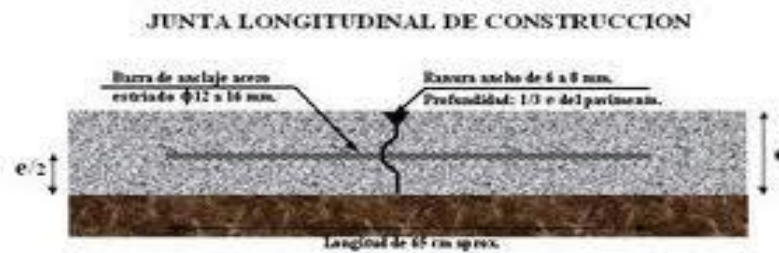


Figura 2.5.7. Junta Longitudinal de Construcción

Se presentan las proporciones de una junta transversal hacia el borde de la losa en un pavimento rígido

- Se realiza el primer corte de 3 mm de ancho
- El segundo corte es realizado momentos antes del sellado y con el objeto de alojar el material sellante y la tira de respaldo.
- El factor de forma (relación entre el ancho y el alto) del segundo corte se calcula en función al tipo de sello que se va a colocar
- Para sellantes de asfalto el factor entre 1 a 1 y 1 a 2 y para siliconas o poliuretano estará entre 1 a 1 y 2 a 1

2.6. CONTROL DE CALIDAD EN PAVIMENTOS RIGIDOS

Cualquier proyecto de obra civil requiere actividades orientadas a comprobar y garantizar que las obras se efectúen de acuerdo con los planos del proyecto y que sus materiales cumplan con las especificaciones aplicables en cuanto a costo y programa de ejecución.

2.6.1. NORMAS TÉCNICAS EN PROYECTOS DE PAVIMENTOS RIGIDOS

En la ingeniería vial existen normas técnicas que rigen la ejecución de proyectos de pavimentos rígidos, tales normas tienen como objetivo servir de guía a contratistas y contratante para la elaboración de los trabajos bajo ciertos lineamientos, que garanticen que estos se llevan a cabo de la mejor forma posible.

Dentro de esta normativa se puede citar las normas de INVIAS, ICONTEC-NTC, AASHTO, ASTM, ACI, entre otras.

Hay que tener en cuenta que toda normativa surge como resultado de un gran trabajo de investigación y pruebas bajo ciertos parámetros y condiciones que pueden variar de un sitio a otro, definiendo las clases de materiales a utilizar y los controles que se deben cumplir en ellos. Es Así como se necesita no-solo tener la norma sino saberla entender y aplicar de acuerdo a la situación y característica en las cuales se este trabajando.

TABLA . controles de campo		
SUBRASANTE	Perfilado, Niveles	Topografía y visual
	Compactación	Densidad en el terreno, cono de arena
	Propiedades del Material	Granulometría, límites de consistencia. Proctor modificado, densidades máximas y mínimas
SUBBASE	Compactación	Densidad del terreno, cono de arena
	Espesor	Medición directa, observación
	Niveles, Regularidad, Ancho	Medición directa, observación
	Preparación	Observación
	Material de Relleno fluido	Ensayo de consistencia, Toma de cilindros para medición de resistencias
BACHEO	Material Granular de relleno	Granulometría, límites de consistencia proctor modificado, densidades máximas y mínimas
	Compactación	Densidad del terreno, cono de arena
	Espesor	Medición directa, observación
	Niveles, Regularidad Dimensiones	Medición directa, observación
	Preparación	Observación
ALISTADO SUPERFICIAL	Perfilado, Niveles, Limpieza, Profundidad fallas	Topografía y visual
PAVIMENTO	Formaleta: Alineación	Topografía chequeo y medición visual
	Afianzamiento	
	Espesor Nominal	Medición en la formaleta, testigos marcados
	Modelación de Juntas	Medición ubicación y espaciamiento transversal y longitudinal
	Colocación de pasadores	Medición del paralelismo y ortogonalidad general, posición en el eje neutro, longitud, diámetros, engrasados en los pasadores lisos, anclajes
	Concreto Fresco	Ensayos de asentamiento con el cono de Abrams, Masa unitaria, temperatura, elaboración de viguetas
	Concreto Endurecido: resistencia Mecánica	Evaluación de ensayos de flexotracción y de compresión
	Pavimento terminado	Pendientes Topografía visual
PAVIMENTO (cont)	Regularidad	Con regla de 3m e hilos
	textura	Visual y medición directa de la macrotextura, profundidad y espaciamientos de dovelas,
	Bordes	Visual, ortogonalidad
	Juntas: geometría, limpieza, sequedad, sello, llenado	Visual y mediciones de la profundidad de colocación de la tirilla de respaldo, preparación del llenante, vaciado con control de niveles, limpieza espacio entre juntas, continuidad del sello.
	Curado	Revisión superficial cobertura del elemento o compuesto curador.
	Espesor	Extracción de testigo

Tabla 2.6.1. Resumen de Control de Calidad del Pavimento en el Campo

2.6.2. SISTEMA DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD EN PROYECTOS DE PAVIMENTOS RIGIDOS

Todos los procesos que implican la construcción de un pavimento de concreto desde la concepción de este y su logística en general, deben realizarse dentro del marco del control y aseguramiento de la calidad, lo que demanda una constante supervisión para que cada labor se articule correctamente al proceso en conjunto, materializando lo concebido en el diseño.

La calidad obtenida en un pavimento rígido depende fundamentalmente no de la intensidad de los ensayos que se realicen sobre el concreto, sino del estudio previo de los diferentes componentes, de la homogeneidad de los mismos en cuanto a características físicas, mecánicas, químicas, etc., de un buen acoplamiento de la dosificación del hormigón en concierto con los equipos de los cuales se disponga.

Es importante dividir el proceso de aseguramiento y control de calidad en proyectos de pavimentos rígidos en varias fases:

Introducción: Se refiere a una etapa básica de planeamiento, aquí se adquiere el compromiso de aplicar un sistema de control de calidad, llevando adelante una investigación preliminar, donde se buscan referencias, se debe considerar deficiencias y beneficios de la aplicación de este programa de calidad, buscando asesorías de otras empresas en las cuales se este manejando un proceso de este estilo.

Estrategia: Aquí se plantea la creación de una gerencia de calidad, la cual se encargará de hacer la gestión de calidad a los proyectos, debiendo ser la que imponga las responsabilidades dentro de la obra de pavimentación y los controles que se llevarán a cabo. Se coordinarán las políticas referentes a la calidad que maneja la compañía para este tipo de proyectos.

En este punto se establecen las características técnicas del proyecto de acuerdo a la normativa que debe seguir, además de la información legal pertinente.

Desarrollo del Proyecto: Tiene que ver con todas las actividades que se deben llevar a cabo para poder tener un organigrama sobre la ejecución del proyecto. Se identificarán las siguientes actividades:

- **Elaboración de presupuestos:** Esta debe ir muy ligada a conseguir que los materiales y servicios a utilizar sean los más económicos, pero no queriendo con esto disminuir la calidad que se va a ofrecer en el producto final
- **Ejecución de flujos de caja y Programación de obra:** Con los estudios ya realizados y el presupuesto del proyecto es posible conocer cuánto será la inversión para la realización del mismo. Además se podrán identificar los procesos constructivos a utilizar, conociendo costos de aplicación, tiempos de producción, número de empleados a utilizar y maquinaria necesaria.

- **Ubicación de los recursos financieros:** Esta actividad debe estar en marcha una vez se está concibiendo el proyecto, a estas alturas se tiene total claridad sobre los costos totales del proyecto y una aproximación de la utilidad final, por lo cual se inicia la búsqueda de fuentes financieras para el proyecto.
- **Construcción:** Inspección del desarrollo del proyecto vial en la obra. Se hace referencia al control sobre las especificaciones y normativas dadas en el diseño, tanto en la parte técnica, como en el cumplimiento del programa, presupuesto etc.
- **Mediciones:** Realizar mediciones es una de las formas más efectivas de mantener el interés en una determinada actividad, especialmente cuando se desea mejorar para tener una calidad más acorde con las necesidades del proyecto.
- **Servicio al usuario:** Identificar el alcance del proyecto a la comunidad, que es al final la beneficiada con este tipo de proyectos. Hay que tener en cuenta que la calidad que corresponde ofrecer debe ser consistente con las garantías otorgadas a la vía.

2.6.3. CALIDAD DEL CONCRETO

2.6.3.1. Trabajabilidad

El concreto deberá ser uniforme, plástico, cohesivo, manejable y trabajable. Se llama trabajable aquel concreto que se puede colocar sin producir demasiados poros en el concreto y en la superficie del pavimento.

Cuando aparezca agua en la superficie del concreto, en cantidades excesivas, después del terminado final, se deberá corregir inmediatamente la mezcla del concreto por medio de una o más de las siguientes medidas:

- Rediseño de la mezcla
- Adición de relleno mineral o de agregados finos.
- Incremento del contenido de cemento.
- Uso de un aditivo incorporado de aire o equivalente, previamente aprobado por la Interventoría.

La mezcla de concreto para pavimentación se deberá diseñar para producir un asentamiento, compatible con el equipo de colocación y vibración del concreto,

obtenido siguiendo los lineamientos de la prueba NTC 396 “Método de ensayo para determinar el asentamiento del hormigón”. El asentamiento no deberá ser menor que cinco centímetros (25 cm) ni mayor que 12 centímetros (12 cm). Las mezclas de concreto que no cumplan con este requisito en el momento de la colocación se deberán rechazar y se podrán usar, si el interventor lo autoriza, en alguna otra obra complementaria.

2.6.4. CONDICIONES PARA ACEPTAR LA OBRA

2.6.4.1. Especímenes de prueba (Cilindros)



Figura 2.6.4. Especímenes de Prueba en el Campo

Se deberán tomar muestras de concreto para hacer cilindros de prueba para determinar la resistencia a la compresión durante el vaciado del concreto. Además, cuando la resistencia del concreto a temprana edad sea un criterio para definir la apertura del pavimento al tránsito, se deberán tomar cilindros de prueba adicionales mediante un plan de muestreo acordado entre la Interventoría y el Constructor.

La frecuencia de muestreo será de dos (2) cilindros para el ensayo de resistencia a la compresión a 3 días, y otros dos (2) para determinar la resistencia a la compresión a 28 días.

Cuando se desee medir la resistencia a siete (7) días es necesario tomar otros dos cilindros

La resistencia del concreto, debe ser determinada por medio de la prueba de la resistencia a la compresión de los especímenes hechos, curados y ensayados en un

laboratorio de pruebas, siguiendo la especificación NTC 550 “Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra”.

Por cada cincuenta metros cúbicos (50 m^3) se tomará una muestra compuesta por cuatro (4) especímenes, o seis (6) cuando se desee medir la resistencia a siete (7) días, con los cuales se fabricarán los cilindros para los ensayos de resistencia a compresión, de las cuales se fallarán dos (2) a tres (3) días y dos (2) a veintiocho (28) días, luego de ser sometidas al curado normalizado.

Los valores de resistencia a siete (7) días se emplearán únicamente para controlar la regularidad de la calidad de la producción del concreto, mientras que los obtenidos a veintiocho (28) días se emplearán en la comprobación de la resistencia del concreto.

El promedio de la resistencia de los dos (2) especímenes tomados simultáneamente de la misma mezcla, se considera como un ensayo.

Se aceptaran los tramos de pavimento construidos con concretos en los cuales el valor promedio de todos los conjuntos de tres ensayos consecutivos iguale o superen el valor de resistencia especificado por el diseñador y que ningún resultado individual tenga una resistencia inferior en 3,5 MPa en el ensayo de resistencia a compresión del concreto.

En caso de que no se alcancen las resistencias especificadas se rechazarán los pavimentos construidos con ese concreto, y el constructor a sus expensas podrá solicitar la extracción de núcleos, de la zona cuestionada, los cuales se ensayaran antes de los 56 días y se aceptará el pavimento si se alcanza la resistencia especificada, en caso contrario se procede a la demolición de las áreas que no cumplan con los requisitos.

2.6.4.2. Tolerancias

Para dar por terminada la construcción de las losas de concreto hidráulico se verificará la alineación, la sección en su forma, espesor, anchura y acabado, de acuerdo con lo fijado en el diseño y a lo ordenado por la Interventoría con las siguientes tolerancias:

2.6.4.2.1. Espesor del pavimento

Para efectos de control del espesor del pavimento, este se verificará en el diafragma del mismo.

El espesor del pavimento se podrá controlar insertando, y retirando inmediatamente, varillas en el concreto fresco, ya vibrado y antes de que se efectúen las labores de acabado de la superficie del pavimento.

Para controlar el espesor del pavimento, se considerarán unidades de cinco (5,0 m) metros de longitud en cada carril de circulación comenzando por el extremo del pavimento con la abscisa menor.

La última unidad de cada carril de circulación será de cinco (5,0 m) metros más la fracción restante para el final del pavimento.

La verificación del espesor se hará, por parte de la Interventoría, en cada unidad de cinco metros (5,0 m) y en cada carril de circulación, en el lugar especificado o seleccionado aleatoriamente, insertando una varilla y midiendo cuanto entró en el concreto fresco, en una zona correspondiente al diafragma

Cuando el espesor del pavimento medido, en el diafragma, no sea deficiente en más del cinco por ciento (5%) con respecto al especificado por el diseñador, se aceptará la unidad medida y se efectuará el pago completo de la unidad.

Cuando el espesor del pavimento, medido en el diafragma, sea deficiente en más de cinco milímetros (5 mm), pero en menos del cinco por ciento del espesor fijado por el diseñador, se deberán hacer el correctivo del caso, adicionando concreto fresco (siempre y cuando el concreto de la losa sea aun trabajable) y se vibrará simultáneamente los dos concretos para evitar que se forme una junta fría en el plano horizontal. Se vuelve a medir el espesor del pavimento antes de que el concreto endurezca y se harán las correcciones a que den lugar las nuevas mediciones.

Cuando el concreto ya esté endurecido y existan dudas sobre el espesor de la losa se podrán extraer dos núcleos dentro de la unidad en estudio, el costo de la extracción estará a cargo del Contratista. Si el promedio de espesor de la losa, obtenido de los núcleos, no es deficiente en más de cinco milímetros (5 mm), se efectuará el pago completo de la unidad.

En el caso de que el promedio del espesor del pavimento medido en el diafragma obtenido a partir de los dos núcleos sea deficiente en más de cinco milímetros (5 mm), pero no menos que el 5% del espesor especificado.

Para el cálculo del espesor de la losa promedio, aquellos espesores, que sean mayores que el espesor indicado en las especificaciones de construcción por más de cinco milímetros (5 mm), serán considerados como el espesor indicado más cinco milímetros (5 mm). De la misma forma, aquellos espesores de losa que sean menores que el espesor indicado en los documentos de construcción en más de veinte milímetros (20 mm), se considerarán como el espesor indicado menos veinte milímetros (20 mm).

Cuando el espesor del cualquier núcleo de concreto sea deficiente por más de cinco milímetros (5 mm), es necesario definir cuánta área tiene esta deficiencia, para ello se procederá a extraer núcleos cada cinco metros (5 m), paralelos al eje de la vía y en ambas direcciones, hasta que se obtenga en cada una de las direcciones un núcleo que no sea deficiente por más del 5%. Estos núcleos de exploración no serán incluidos para el cálculo del espesor promedio de la losa con el fin de obtener un precio ajustado. Los núcleos de exploración serán empleados solamente para determinar el área del pavimento dentro de la unidad en estudio que se dejará en su lugar o se removerá sin que el contratista reciba pago alguno por esta área.

Cualquier área del pavimento que sea deficiente por más de 5 milímetros, pero no más del 5 % el espesor no será sujeta de pago al contratista.

Cualquier área de pavimento que se encuentre deficiente por más de 10 milímetros de espesor indicado de la losa en los documentos de construcción, se debe remover y remplazar con concreto del espesor indicado en los documentos de construcción sin que el contratista reciba pago alguno por los trabajos adicionales.

CAPITULO III

3. EFECTOS DE LA TEMPERATURA EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGON

3.1. EFECTO DE LA TEMPERATURA EN CLIMA CALIENTE

Pérdida de trabajabilidad del concreto fresco, debido a:

- Un aumento en la velocidad de hidratación del cemento, y por lo tanto una aceleración en el fraguado del mismo;
- Una pérdida de agua de mezclado por fenómenos de evaporación

Mayor dificultad en la colocación y acabado de las piezas a colocar, aumentando el riesgo de aparición de juntas frías.

Posible disminución de las resistencias a compresión del concreto endurecido debido a:

- Una mayor sensibilidad a la falta de curado, o a un curado insuficiente;
- Un incremento en la dosificación de agua para aumentar la trabajabilidad, rebasando la relación agua/cemento necesaria.

Aumento del riesgo de que se produzcan fisuras por retracción y por gradientes térmicos.

Posible descenso en la durabilidad del concreto, sobre todo si se ha utilizado agua en exceso o se ha producido una importante fisuración.

3.2. EFECTO DE LAS TEMPERATURAS EN CLIMAS FRIOS

La velocidad de hidratación del cemento disminuye a medida que desciende la temperatura, lo que determina un lapso de tiempo superior para alcanzar la resistencia correspondiente a esa dosificación.

La congelación del agua de mezclado, produce un incremento de su volumen y crea tensiones internas que determinan la rotura de la estructura del concreto.

3.3. TEMPERATURA DEL CONCRETO

Los aumentos en la temperatura del concreto inducirán los siguientes efectos adversos:

- La cantidad de agua necesaria para producir un cierto revenimiento aumenta conforme se humedece. Para un tiempo de mezclado constante, la cantidad de agua necesaria para alcanzar un cierto revenimiento también aumenta con la temperatura.
- Este aumento en el contenido de agua inducirá una disminución de la resistencia y de la durabilidad si la cantidad del material cementante no se incrementa.
- La pérdida del revenimiento resultara evidente a edades tempranas después del mezclado inicial y con una mayor rapidez, lo cual puede dificultar el manejo y las operaciones.
- En climas áridos se tendrá una mayor probabilidad de que se presenten grietas por contracción plástica.
- En secciones de grandes dimensiones se tendrá una mayor rapidez de hidratación y evolución del calor lo cual aumentara las diferencias de temperatura entre el concreto interior y el exterior. Esto puede dar lugar a agrietamientos por temperatura.
- El curado temprano será cada vez más crítico y la falta del cada vez más perjudicial a medida que aumenta la temperatura.

3.3.1. REQUERIMIENTO DEL AGUA

El agua, al ser uno de los ingredientes del concreto, afecta en forma importante muchas de sus propiedades significativas, tanto al estar recién mezclado como una vez endurecido. Las temperaturas altas del agua inducen mayores temperaturas en el concreto y, a medida que la temperatura de este aumenta, se necesita más agua para obtener el mismo revenimiento.

A menos que la cantidad de material cementante sea incrementada proporcionalmente, el agua adicional aumenta la relación agua-material cementante y, por lo tanto, reducirá la resistencia durabilidad, impermeabilidad y otras propiedades intrínsecas del concreto.

3.3.2. EFECTO EL CEMENTO

La alta temperatura del concreto aumenta la rapidez de hidratación del cemento. Como consecuencia, el concreto se endurece más rápidamente y requiere de más agua para alcanzar o mantener el revenimiento deseado.

La selección de un tipo de cemento particular puede tener efecto decisivo en el comportamiento del concreto colocado en clima caluroso.

El uso del cemento portland tipo II de fraguado más lento o de un cemento mezclado Tipo IP o IS puede mejorar las características de trabajabilidad del concreto en climas calurosos. El concreto que contiene los cementos de fraguado más lento puede ser más propenso a presentar agrietamientos por contracción plástica.

Cuando se usan cementos de hidratación más lenta, la menor rapidez de generación de calor y la disipación simultánea de calor del concreto traen como resultado menores temperaturas pico. Se

tendrá una menor expansión térmica y se reducirá el riesgo de agrietamiento por temperatura al enfriarse el concreto.

3.3.3. PRODUCCION Y ENTREGA

Los procedimientos de dosificación y mezclado que se usan en ambientes con altas temperaturas no difieren de los métodos satisfactorios que se usan en condiciones normales, es esencial producir concreto con revenimiento correcto y otras propiedades especificadas para cumplir con las especificaciones aplicables. La interrupción de la colocación debida al rechazo puede dar lugar a la formación de una junta fría o a serios problemas de acabado. El ensayo del concreto debe ser oportuno y preciso de tal forma que los resultados representen la condición real del concreto.

Las condiciones de altas temperaturas y de tiempos más largos de transporte pueden sugerir la necesidad de dividir el proceso de mezclado del cemento en el sitio de la obra, o la planta a fin de mantener seco parte del cemento y luego mezclar el concreto en el momento de su entrega a la obra. Sin embargo, esto no puede contribuir a la uniformidad del concreto entre una carga y otra. Estos métodos pueden ofrecer la mejor solución para las condiciones existentes. Sin embargo, generalmente se logra concreto mejor controlado cuando los materiales se dosifican en las instalaciones regulares de la planta. Si se usan algunos aditivos retardantes efectivos con las dosis recomendadas, de preferencia en combinación con un material cementante con características de fraguado lento, el concreto se puede mantener en condiciones de trabajabilidad durante periodos largos aun en climas calurosos. Si el revenimiento fuera más bajo que el requerido, se recomienda el uso de aditivos reductores de agua mediano o de alto rango, para incrementar el revenimiento del concreto.

En el caso de climas cálidos, el tiempo de mezclado a la velocidad de rotación de la mezcladora debe ser el mínimo necesario a fin de evitar la generación de calor en el concreto, para lograr un mezclado eficiente, las mezcladoras no deberán tener restos de concreto endurecido ni desgaste excesivo de las espas. Una vez que el concreto ha sido mezclado hasta alcanzar una condición uniforme, la rotación adicional del tambor debe mantenerse a la mínima velocidad de agitación de la unidad (generalmente una revolución por minuto). En términos generales la mezcladora no deberá detenerse en periodos largos. Existe la posibilidad de problemas de falso fraguado, haciendo que el concreto se endurezca rápidamente o que fragüe en el tambor, o que se achaten los rodillos mezcladores.

3.3.4. COLOCACION Y ACABADO PREPARATIVOS PARA EL COLOCADO

En una etapa temprana del proyecto se deben hacer planes para minimizar la exposición del concreto a condiciones climáticas desfavorables. En condiciones extremas de altas temperaturas, es recomendable programar colocados del concreto en horas fuera de las normales. Las previsiones que se deberán tomar en cuenta incluyen la facilidad de manejo de colocación y el tratar de evitar el riesgo de contracción plástica y de agrietamiento por temperatura.

Se deberá hacer gestiones necesarias para contar con un abastecimiento suficiente de agua en el sitio que permita mojar las subrasantes, humedecer las cimbras, el refuerzo previo al colado del concreto y para el curado en húmedo si así se requiere. Tanto los materiales como los medios deben estar a la mano para levantar rompevientos temporales y cubiertas que se necesiten para protección contra los vientos secos y rayos solares. Se deberá contar

con películas de plástico o compuestos aplicados por aspersión para formar membranas temporales que conserven la humedad, con el fin de reducir la evaporación en losas planas entre las etapas del acabado. También se deberá contar con los medios para proteger el concreto contra el agrietamiento por contracción térmica si es probable que vaya a quedar expuesto a cambios bruscos de temperatura.

COLOCACION Y ACABADO

La mayor rapidez de colocación y de acabado reducen materialmente los problemas derivados de climas calurosos. Los retrasos aumentan la pérdida del revenimiento y demandan la adición de agua para contrarrestarla. Cada una de las operaciones de acabado se deberá llevar a cabo tan pronto como sea posible una vez que el concreto esté listo para ello. El concreto no deberá colocarse a mayor rapidez de la que pueda consolidarse y terminarse. Si la rapidez de colocación no se coordina con la fuerza de trabajo y con el equipo disponible, la calidad de la obra se verá afectada por juntas frías, consolidación insuficiente y acabados regulares de la superficie.

Si no existe protección contra pérdida de humedad se pueden presentar grietas por contracción plástica.

En climas calurosos generalmente es necesario colocar el concreto en capas de menor espesor que las que se usan en climas más templados a fin de garantizar la cobertura de la capa inferior cuando está todavía podrá responder fácilmente a la vibración.

CAPITULO IV

3. CURADO DEL PAVIMENTO RIGIDO

3.1. INTRODUCCION

Una vez terminadas las operaciones de colado y acabado, se deberá continuar aplicando medidas para proteger el concreto contra altas y bajas temperaturas, luz solar directa y vientos secos. De ser posible, el trabajo se debe mantener en condiciones de temperatura uniforme moderada a fin de permitir que el concreto alcance su resistencia potencial final. Las altas temperaturas del curado son perjudiciales a la resistencia última en mayor grado que las altas temperaturas de colocación.

Los procedimientos para evitar que las superficies expuestas se sequen se deben iniciar de inmediato con una amplia cobertura y continuarse sin interrupción, el no hacerlo puede dar lugar a una contracción excesiva y a agrietamiento y con ello se afectara la durabilidad de la superficie y la resistencia del concreto, el curado se deberá continuar cuando menos durante los primeros siete días. Si durante este periodo se hace algún cambio al procedimiento de curado, este solo se podrá aplicar después de que el concreto tenga una edad de tres días. Durante la transición no se permitirá que la superficie del concreto se seque. También deberá protegerse el concreto contra el agrietamiento por contracción térmica inducida por cambios bruscos de temperatura, sobre todo las primeras 24 horas. Este tipo de agrietamiento esta generalmente asociado a una rapidez de enfriamiento de más de 3°C por hora, o de más de 28°C en un periodo de 24 horas, para un concreto con una dimensión mínima de 300mm. El concreto expuesto a un enfriamiento rápido presenta una menor resistencia a las deformaciones unitarias por tensión y es más susceptible al agrietamiento que el concreto que se deja enfriar con una rapidez menor.

Con objeto de que alcance la hidratación adecuada, el concreto nuevo debe estar protegido del secado prematuro. Por lo general, deben tomarse medidas positivas a fin de evitar una evaporación excesiva de humedad de dicho concreto. No obstante, durante el invierno, cuando la temperatura del aire cae por debajo de los 10⁰C, las condiciones atmosféricas en la mayor parte de las zonas no provocaran un secado indeseable; por el concreto nuevo, en condiciones de saturación, resulta vulnerable al congelamiento y, por lo tanto, debe permitírsele un ligero secado antes de exponerlo a temperaturas de congelamiento.

Una operación esencial para la obtención de un pavimento de calidad, es la realización de un correcto curado para evitar la pérdida del agua por evaporación superficial, lo que, aparte de provocar fisuras de retracción, da lugar a una disminución de las resistencias del hormigón, en especial en la parte superior del mismo.

En la construcción de pavimentos, la durabilidad y el control del agrietamiento siempre se menciona al curado como la herramienta más económica y eficaz para garantizar una obra durable, resistente y libre de grietas.

Pero la realidad muestra otra cosa, hay información de que casi tres cuartos de las obras que se construyen con concreto son objeto de inadecuadas prácticas de curado o simplemente no se lleva a cabo esta actividad, lo cual demuestra que muchos diseñadores y constructores no conocen exactamente el gran aporte de un buen curado a las propiedades finales de la estructura

Estamos seguros de que una mejor práctica de curado redundará, de inmediato, en la calidad de las construcciones.

Esto es particularmente importante en una época, como la actual, donde la durabilidad de las estructuras ha venido a constituirse en un asunto de extrema importancia debido a la cada vez más temprana necesidad de rehabilitar estructuras afectadas por la acción de ambientes agresivos.

El proceso de curado es importantísimo para la obtención de resistencias, ya que como todo concreto, si no se cura adecuadamente puede dejar de ganar hasta el 50% de la resistencia especificada.

3.2. TIPOS DE CURADO

3.2.1. CURADO CONVENCIONAL



Figura 4.2.1. Curado Convencional

El curado con agua denominado también como curado convencional, se forma una lámina, en forma de riegos o saturación, es práctico solo en áreas de losas sin juntas o donde el agua este realmente confinada por retenedores para impedir humedecer la capa de subbase o saturar la subrasante. Esto es necesario para limitar el alabeo potencial de la losa a causa de gradientes de humedad y para preservar la compactación del sistema de soporte del suelo. El agua para el curado debe estar dentro de los 7⁰C de la temperatura del concreto para un choque térmico. Debe mantenerse

un mojado continuo para evitar puntos secos aislados. La cubierta húmeda es generalmente el método más práctico y satisfactorio de curado con agua.

Cubiertas húmedas:

Cuando se aplican y se mantienen en forma apropiada, el yute otras cubiertas humedecidas proveen de un abastecimiento continuo de humedad distribuido uniformemente sobre la superficie de la losa. El yute ha sido la cubierta húmeda más común; el yute humedecido tiende a bajar la temperatura de las losas de concreto que se están hidratando.

Las cubiertas húmedas se deberán tener sobre el concreto tan pronto como se determinen las operaciones de acabado y se pueda evitar producir daños a la superficie. Las orillas del concreto expuestas se deberán cubrir cuidadosamente. Las cubiertas se deberán conservar húmedas para que la película de humedad permanezca en contacto con el concreto durante todo el periodo de curado. Existen yutes que resisten la putrefacción y el fuego o que reflejen la luz-reduciendo la absorción de calor de la luz del sol- o una combinación de todo ello. También se cuenta con cubiertas de yute en un lado y polietileno en otro; el polietileno es útil para conservar la humedad del yute más tiempo pero hace más difícil su humedecimiento. También se pueden conseguir otros tejidos con respaldo de polietileno. Estos tejidos no manchan el concreto como algunos yutes, y con frecuencia son más ligeros y durables que el producto con respaldo de yute.

La duración del curado variara con el método, la temperatura ambiental, la humedad del aire y el tipo de cemento, con cualquier tipo de cemento, en temperaturas arriba de 5⁰C, se recomienda normalmente siete días sin interrupción para curado con agua o curado con cubierta que retengan la humedad. Este periodo de

tiempo se puede reducir a tres días cuando se emplea concreto de alta resistencia temprana y las temperaturas son de 23⁰C o superiores.

Para este tipo de curado se precisa una amplia dotación de agua y contar con los medios para eliminar el escurrimiento. Cuando se usa rociado se debe tener cuidado para evitar la erosión de la superficie.

3.2.2. CURADO CON AGENTES QUIMICOS



Figura 4.2.2. Curado con Agentes Químicos

En condiciones ambientales críticas: alta temperatura, baja humedad relativa y vientos fuertes, además de prever la utilización de barreras para el viento y pantallas que proporcionen sombra, se debe combinar el curado con agua con la aplicación del compuesto líquido.

El procedimiento incluye rociar agua, continua y suavemente, sobre la superficie del concreto por un lapso aproximado de 2 horas y proceder luego a aplicar el compuesto curador líquido.

Los compuestos que forman membrana tienen ventajas grandes sobre los demás sistemas que pueden ser explotados por el constructor:

- No requieren que se les mantenga humedecidos para asegurar que no absorban agua de la mezcla.
- Muy fácil manejo, a diferencia de las telas, arena, paja, pasto.
- Pueden ser aplicados antes de que inicie la aplicación del curado húmedo y se complementan.

Aunque no es compuesto de curado, la aplicación de un retardador de evaporación cobra cada vez mayor vigencia en labores de construcción de pisos y pavimentos ya que permite hacer el afinado después de que cesa la exudación y antes del fraguado final.

Los compuestos de curado que forman membrana, que cumple con las normas ASTM C309 y se aplican estrictamente de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, aplicados a la superficie del concreto retardan eficazmente la evaporación del agua. Estos compuestos constituyen un medio eficaz de curado, particularmente si van precedidos por un curado húmedo. Los compuestos de curado de pigmento blanco se utilizan comúnmente donde la apariencia futura no es importante, debido a que la cubierta se verifica fácilmente y la reflexión minimiza las temperaturas superficiales. Los compuestos claros (utilizados en áreas donde la apariencia de los compuestos de curado blancos sería objetables durante el periodo que están fuera de la intemperie) deben contener un tinte pasajero para asegurar un cubrimiento completo.

La superficie que recibe un compuesto de curado debe, sin embargo estar húmeda, y arriba de los 40°C cuando se aplica la capa. La aplicación se debe hacer con un equipo mecánico de rociado en una capa lisa uniformemente texturizada. Aplíquese dos capas, con a

segunda capa en Angulo recto con la primera. Nótese que en condiciones de viento se puede reducir el recubrimiento efectivo.

Si no se especifica el recubrimiento, este no debe exceder de 9.8m²/l. No utilice compuestos de curado sobre superficies que recibirán concreto adicional, pintura o mosaico que requiera adherencia positiva, a menos que se haya demostrado claramente que la membrana puede eliminarse satisfactoriamente una vez de que se haga la siguiente aplicación, o que la membrana puede servir para una base de la posterior aplicación. Los rociadores manuales tipo “jardín” pueden permitirse solo en trabajos menores.

Se debe verificar la uniformidad del recubrimiento, y que la cantidad de material utilizado cubra toda la superficie requerida. Antes de reanudar el trabajo sobre un área que ha sido tratada con un compuesto de curado, asegúrese de que el compuesto tiene la suficiente resistencia para soportar pisadas u otro tipo de tránsito. Las partes dañadas se deben resellar inmediatamente después del curado.

En zonas áridas puede ser conveniente un compuesto de curado de membrana si se emplea, durante las primeras veinticuatro horas después del acabado o el descimbrado, uno de los métodos de curado húmedo explicados anteriormente. Sin un amplio curado de agua inicial, el sellado del concreto cimbrado tiene poca importancia en un clima árido. En climas normales solo se requiere una sola capa, pero bajo condiciones de clima muy seco se necesitan dobles, debido a que los diminutos agujeros formados en la primera capa ocasionan una considerable evaporación.

Las cimbras de madera, mojadas continuamente o cimbras metálicas ayudan a contra la perdida de humedad. Las superficies superiores expuestas del concreto se deben conservar suficientemente mojadas para asegurar que el agua escurra al interior de las cimbras

previamente aflojadas. Por otra parte, las cimbras se deben eliminar tan pronto como sea posible, de modo que el curado prescrito se pueda comenzar con la menor demora posible. Si se va a utilizar una membrana 24 horas o más, la superficie debe humedecerse con manguera durante varias horas, antes de aplicar el compuesto de curado. El mojado es importante, especialmente en las mezclas ricas, ya que el concreto se seca parcialmente durante el auto desecación que acompaña la reacción entre cemento y agua.

3.2.3. OTROS TIPOS DE CURADO

Laminas impermeables para el curado



Figura 4.2.3.1. Curado con láminas impermeables

Las películas de polietileno pueden proporcionar un curado húmedo y efectivo a condición de que se mantenga muy cerca contra la superficie de concreto, que estén protegidas y no estén sujetas a una

actividad de construcción que pueda romper o afectar de algún modo su rendimiento como una barrera contra la humedad.

El papel impermeable (kraft) puede usarse también exitosamente como una barrera contra la humedad. Las juntas entre hojas adyacentes se deben sellar herméticamente y proteger contra danos.

En tiempo cálido evítese el uso de películas plásticas de color oscuro excepto para interiores; sin embargo debido a sus cualidades de absorción de calor, esto tiene sus ventajas en tiempo frío.

Ocasionalmente inspeccione, la superficie del concreto debajo de las hojas; si se observa que está seco, la superficie debe ser rehumedecida y, las aberturas selladas nuevamente. Bajo ciertas condiciones, la combinación de una película de plástico y una malla absorbente unidas, funciona con mayor eficiencia, debido a que ayuda a retener y distribuir la humedad desprendida del concreto y condensada en la cubierta de curado.

Cuando la apariencia es de especial consideración, el concreto debe curarse por otros medios, ya que la humedad condensada sobre el lado inferior de la película plástica lisa (particularmente en las arrugas) crea una distribución irregular del agua en el concreto, con migración de sustancias solubles que, a menudo, darán como resultado una apariencia moteada, así como decoloración por la hidratación diferencial. sobre cubiertas y pavimentos, que requiere una superficie texturizada procure que el recubrimiento no dañe la textura mientras el concreto se encuentre en estado plástico.

Curado acelerado

La mayoría del concreto pre colado y, particularmente el presforzado, con excepción de los paneles decorativos, se cura con procedimientos de curado acelerado. El curado acelerado se logra con el uso de vapor saturado o con calor seco, lo cual requiere que el

elemento de concreto sea sellado para evitar la pérdida del agua de mezclado.

Curado a vapor



Figura 4.2.3.2. Curado acelerado con vapor

La finalidad del curado a vapor o de otro tipo de curado acelerado es la obtención de una alta resistencia temprana con ello de un ciclo más rápido de producción. Los efectos de temperaturas iniciales más altas sobre las propiedades del concreto.

Cualquiera q sea el tipo de curado acelerado, deberá existir un compromiso entre los niveles de resistencia temprana y los deseados de edades posteriores. Generalmente se especifica un periodo de pre fraguado antes de que se incremente la temperatura, y debe obedecerse eso.

El recinto para el curado a vapor debe retener el vapor vivo a fin de minimizar las pérdidas de humedad y de calor. Se deberá mantener la circulación libre de vapor alrededor de la parte superior y de los lados del elemento. No se deberá dejar que el chorro de vapor incida directamente sobre la superficie del concreto. Se deberán instalar a distancias no mayores a 60m entre sí, termómetros registrados q demuestren la relación tiempo-temperatura.

Curado con arena, tierra o aserrín: Se emplea con algún éxito el curado mediante el cubrimiento del concreto con alguno de los citados materiales; los dos primeros son muy útiles cuando se presentan vientos fuertes. Tienen, además de los inconvenientes de los tejidos de fique, el problema de que pueden manchar el concreto o deteriorarlo como sucede con el aserrín proveniente de maderas con alto contenido de ácido tánico.

Película de plástico:



Figura 4.2.3.3. Curado con películas de plástico

Son livianas y se extienden fácilmente en superficies horizontales. La película de plástico debe tener un espesor mínimo de 0.1 ms. Se usan generalmente plásticos blancos, transparentes y negros. Los primeros reflejan los rayos del sol mientras protegen, son útiles, como los transparentes, en clima cálido.

El plástico negro absorbe calor de los rayos del sol y calienta la pieza estructural, por tal razón es útil para generar un curado adecuado del concreto a bajas temperaturas o acelerar “gratis” resistencias aprovechando la radiación solar. Los compuestos líquidos de curado que forman membrana deben cumplir las especificaciones de la Norma ASTM C 309-98. Entre las materias primas que normalmente se usan en la fabricación de compuestos de curado se pueden citar: ceras, resinas, caucho clorado y disolventes

altamente volátiles. Dichos compuestos deben estar diseñados de tal manera que formen un sello poco tiempo después de haber sido aplicados; además, no deben reaccionar con la pasta de cemento.

3.3. PROCESO DE CURADO DE PAVIMENTOS RIGIDOS

El curado del concreto se debe hacer en todas las superficies libres, incluyendo los bordes de las losas.

Se deberán hacer las gestiones necesarias para contar con un abastecimiento suficiente de agua en el sitio que permita mojar las subrasantes, humedecer las cimbras, el refuerzo previo al colocado del concreto y para el curado en húmedo si así se requiere. Las boquillas nebulizadoras que se usen deberán producir un manto de niebla. Tanto los materiales como los medios deben estar a la mano para levantar rompevientos temporales y cubiertas que se necesiten para protección contra los vientos secos y contra luz solar directa. Se deberá contar con películas de plástico o con compuestos aplicados por aspersión para formar membranas temporales que conservan la humedad, con el fin de reducir la evaporación para losas planas entre las etapas de acabado. También se deberá contar con los medios para proteger el concreto contra el agrietamiento por contracción térmica si es probable que este vaya a quedar expuesto a cambios bruscos de temperatura. Por último deberán estar disponibles en el sitio los materiales de curado seleccionados a fin de proporcionar una protección oportuna contra el secado prematuro a todas las superficies expuestas una vez concluida la colocación.

El curado se podrá dividir en dos etapas:

3.3.1. Curado inicial

Reciben el nombre de curado inicial del pavimento las acciones que se hacen, antes de la terminación de la superficie del concreto, tendientes a evitar la formación de fisuras por secado del concreto.

Se debe hacer mediante una o más de las siguientes actividades:

- Colocación de una barrera contra el viento. Dado que el viento incide de una manera notable en la evaporación del agua del concreto, se recomienda contrarrestar su acción con una barrera.
- Utilizar producto retardador de evaporación de agua conforme a las instrucciones descritas anteriormente.
- Evitar que se deseque superficialmente el concreto en estado plástico mediante la aspersion de niebla húmeda con dilución de retardante de evaporación.
- Cualquier actividad que evite la desecación superficial de la placa de concreto antes de su endurecimiento final y la aplicación de la membrana curadora.
- Cuando el curado del concreto se vaya a realizar por inundación de la placa, se podrá inundar la placa cuando el concreto ya haya alcanzado el fraguado final.

Estas actividades se deben ejecutar antes y durante las actividades de acabado y terminación del concreto.

3.3.1.1. Retardadores de evaporación

Son productos que aplicados sobre el concreto, mediante un aspersor fino que genere una niebla húmeda, antes de, o durante, la ejecución de las etapas de acabado (allanado o alisado, macro-texturizado, micro-texturizado, rayado) evitan que por acciones atmosféricas tales como: soleamiento, vientos, humedad relativa baja, o por alta temperatura del concreto, éste pierda la humedad

superficial y por este motivo se inicie un proceso de fisuramiento antes de hacer el curado final.

Este debe ser aplicado sobre la superficie del concreto en estado plástico, ya que evitan que el agua se evapore precipitadamente, con lo cual se disminuye el riesgo de fisuras en el concreto.

3.3.2. Curado final

El curado final se deberá hacer inmediatamente después de que finalizan las actividades del acabado, cuando el concreto empieza a perder su brillo superficial y se podrá hacer con membranas impermeables, con aportes continuos de humedad o con la colocación de láminas de papel o de plástico.

3.3.2.1. Curado con membranas impermeables

Las membranas químicas impermeables son sustancias que cuando se aplican sobre la superficie del pavimento forman una membrana que reduce la evaporación de agua de la superficie del pavimento.

La aplicación de la membrana de curado se hace aplicando en la superficie un rocío a razón de un (1) litro por metro cuadrado, para obtener un espesor uniforme de un (1) milímetro, que deje una membrana impermeable y consistente, de color claro, que impida la evaporación del agua que contiene la mezcla del concreto fresco. Su aplicación se debe realizar preferentemente con irrigadores mecánicos a presión. La membrana de curado no se deberá aplicar durante periodos de lluvia.

Todas las caras expuestas se deberán recubrir con la membrana de curado inmediatamente se descubran, como por ejemplo, cuando se retiren las formaletas.

El espesor de la membrana podrá reducirse si, de acuerdo con las características del producto que se use, se puede garantizar su integridad, cubrimiento de la losa y duración, de acuerdo con las especificaciones del fabricante de la membrana de curado.

3.3.2.2. Curado por humedad

Cuando el curado se vaya a realizar con productos retenedores de agua, se cubrirá toda la superficie del concreto con cualquier producto con alto poder de retención de humedad (arena, tela, etc.), cuando el concreto haya adquirido la consistencia suficiente para que no se vea afectado su acabado superficial.

Mientras se cubre la superficie del concreto, ésta se mantendrá húmeda aplicando agua en forma de rocío fino y nunca en forma de riego. Los materiales utilizados se mantendrán saturados todo el tiempo que dure el curado y no se debe permitir el uso de ningún material que ataque o decolore el concreto.

Durante las épocas de lluvias la Interventoría podrá exigirle al Contratista la colocación de láminas de plástico o de otro material adecuado para proteger al concreto fresco, cubriéndolo hasta que adquiriera la consistencia necesaria para que el acabado superficial no sea afectado por la lluvia. No se permitirá el uso de láminas de plástico de color oscuro.

El empozamiento del pavimento es una acción de curado que cae en esta categoría y consiste en generar una barrera con arcilla en los bordes del pavimento y luego se vierte agua en la superficie.

3.3.2.3. Curado con láminas de papel o de plástico

La colocación de las láminas se hará cuando la superficie del concreto esté lo suficientemente consistente para que no se vea afectada en su acabado. Durante el intervalo transcurrido entre la colocación del concreto y su endurecimiento inicial, se deberá aplicar agua en forma de rocío fino. Se deberá asegurar la permanencia de las membranas en toda el área y durante el tiempo que dure el curado.

3.4. TECNICAS DEL CURADO EN PAVIMENTOS RIGIDOS

Los requerimientos de curado de los pavimentos, el tipo de curado a aplicar y su extensión pueden variar dependiendo de muchos factores, entre los que pueden citarse: los materiales que lo componen, en particular el tipo de cementante, las condiciones climáticas de la zona e incluso el microambiente que rodea la estructura, el tipo de estructura, las condiciones de servicio, la durabilidad deseada y, por último, el grado de agresividad del medio que la rodea.

Los métodos o técnicas de curado se clasifican de la siguiente manera:

1. Métodos que suministran humedad adicional a la superficie del concreto durante el periodo inicial del endurecimiento. Estos incluyen la inundación o inmersión, el rociado o pulverización, y el uso de cubiertas húmedas. Tales métodos proporcionan, por el efecto de la evaporación, cierto grado de enfriamiento que es beneficioso en tiempos calurosos.
2. Métodos que impiden las pérdidas de humedad mediante el sellado o impermeabilización de la superficie del concreto. Esto puede conseguirse empleando papel impermeable, películas

plásticas, compuestos de curado y por medio de los moldes o encofrados dejados en su lugar.

3. Métodos que aceleran el endurecimiento del concreto, suministrándole calor y humedad. Esto se lleva a cabo mediante vapor vivo o resistencias eléctricas.

Curado por inmersión: Es el método que produce los mejores resultados, pero presenta inconvenientes de tipo práctico, pues implica inundar o sumergir completamente el elemento de concreto. Mediante el empleo de rociadores aspersores Con este método se consiguen buenos resultados y es fácil de ejecutar. Tiene el inconveniente de que la intermitencia o la aplicación ocasional, pueden conducir a un curado deficiente. El agua para curado del concreto debe estar libre de contaminantes y materiales deletéreos. En general se puede usar agua potable y en general agua que cumpla la norma de agua de amasado para concreto (ASTM C-59). El agua de curado no debe estar a una temperatura tal que cree al aplicarla un choque térmico al concreto, pues puede fisurarlo. Se recomienda que el agua no esté a una temperatura inferior en 11oC a la temperatura de la masa del concreto. En caso de que se usen equipos para producir una niebla húmeda, como curado inicial. Empleo de tejidos de fique o de otros materiales absorbentes Estos tejidos mantienen la humedad en superficies tanto verticales como horizontales, pero deben ser humedecidos periódicamente, con el riesgo de que si no se mantiene el nivel de humedad el curado es deficiente. Además, presentan el problema de absorber, eventualmente, el agua útil del concreto. Deben traslaparse adecuadamente y con holgura y se debe colocar sobre sus extremos arena o bolsas con tierra u otro material pesado que impida que el

viento los desarregle y descobije porciones del elemento de concreto.

Curado húmedo: El método preferido de curar el concreto es el curado húmedo mediante el uso de agua rociada, corriente o encarchada, o cubiertas continuamente saturadas de arena, tela burda u otro material absorbente.

Se debe aplicar el agua en las superficies no cimbradas tan pronto como se pueda sin que se dañe el acabado, y en las superficies cimbradas, inmediatamente después de que las cimbras se han retirado. Donde la apariencia de la estructura terminada sea importante, debe utilizarse agua limpia para el curado. Las manchas pueden ser ocasionadas por agua con algún contenido de hierro, por tubos ferrosos utilizados para esparcir el agua de curado, o por otros agentes que ensucian el agua. Los tubos de plástico perforados o las mangueras de lona son convenientes para la distribución del agua de curado.

La tela mojada es barata y se puede aplicar, sin dañar la superficie, casi inmediatamente después de que el concreto está terminado. Esteras de algodón y viejas carpetas pueden utilizarse de la misma manera que la tela burda. La tela u otras cubiertas mojadas deben estar limpias para no manchar el concreto. El yute nuevo o viejo que este contaminado puede manchar el concreto.

En superficies cimbradas conserve la tela mojada con un tubo de plástico perforado o con manguera de lona, o con cualquier otro medio y conserve la tela en contacto con el concreto. Utilice más de un espesor de tela. Si la tela una tela o algo similar durante todo el curado, permita que la tela se seque antes de retirarla. El concreto entonces secara más lentamente y no estará tan expuesto a agrietamientos.

Si piensa utilizar agua rociada, utilice primero tela o estera húmeda. Deje estas esteras en su lugar y consérvelas mojadas hasta que no haya peligro de erosión de la superficie por el roció de curado.

Si utiliza tierra o arena mojada como agente de curado, asegúrese de que no contiene terrones o piedras granulares y consérvela continuamente mojada. Además asegúrese de que no contiene cantidades de materia orgánica dañinas u otras sustancias que puedan dañar al concreto.



Figura 4.4.1 Técnica de Curado con Agua

Curado con membranas: el uso de compuestos líquidos que forman membranas es el método más práctico de curado en aquellos casos en que las condiciones de la obra no son favorables al empleo de curado en húmedo. Las membranas restringen la pérdida de humedad del concreto propiciando el desarrollo de sus resistencia, su durabilidad y la resistencia a la abrasión de pavimentos. En las superficies de concreto expuestas al sol se deberán usar compuestos blancos reflejantes formulados a base de pigmentos. La capacidad e retención de humedad varía considerablemente de un producto a otro. Para poder usarse en climas calurosos se deberá seleccionar el material que proporcione una mejor retención de agua que la especificada en la ASTM C309. En esta se limita la pérdida de humedad en un periodo de 72 horas a no más de 0.55Kg/m^3),

cuando el ensayo se realiza de acuerdo a la norma ASTM C156. Tratándose de losas planas el compuesto deberá aplicarse inmediatamente después de haberse desaparecido el brillo del agua superficial dejado por la última pasada del acabado final. Si se aplica por aspersión, las boquillas de aspersión se deberán sostener o colocar lo suficientemente cerca de la superficie para garantizar la correcta velocidad de aplicación y evitar la dispersión por el viento. La aplicación manual se deberá hacer en dos pasadas, aplicando la segunda de ellas perpendicularmente a la dirección de la primera aplicación. La mayoría de los compuestos de curado no deben usarse en superficies sobre las cuales vaya a colocarse más concreto o se vaya a pegar algún otro material, a menos que el material de curado no impida la adherencia o a menos que se garantice la remoción del material de curado antes de colocar el siguiente material.

Curado del concreto dentro de la cimbra: las cimbras se deberán cubrir y mantener continuamente húmedas durante el periodo inicial de curado. El concreto colocado con cimbra necesita tener acceso suficiente a una dotación externa de agua para que desarrolle la resistencia. Esto es de particular importancia cuando se emplea un concreto de alta resistencia que tenga una relación agua –material cementante menor a 0.40 aproximadamente. La cimbra se deberá aflojar tan pronto como pueda hacerse sin causar daños al concreto y se deberá tomar las medidas necesarias para que el agua de curado circule por la parte interior de la cimbra. Se puede presentar agrietamientos cuando el concreto se enfría rápidamente a partir de su temperatura máxima y está restringido para contraerse. Una vez descimbrado el concreto se pueden llenar los agujeros de fijación de la cimbra y hacer todas las reparaciones necesarias descubriendo una parte pequeña del concreto y a la vez realizando el trabajo.

Estas reparaciones deberán concluirse en los primeros días siguientes al descimbrado de manera que los arreglos y el relleno de los agujeros pueda curarse junto con el concreto que los rodea. Al término del periodo de curado (7 días como mínimo), la cubierta se deberá dejar en su lugar durante varios días sin humedecer (se sugiere 4 días) a fin de que la superficie de concreto vaya secándose lentamente y este menos propensa al agrietamiento superficial por contracción. También podrán minimizarse los efectos del secado mediante la aplicación por aspersión de un compuesto de curado al concluir con el periodo de curado húmedo.

CONDICIONES ESPECIALES DE CURADO Y PROTECCION

Aunque los requerimiento de curado para el concreto colado en climas extremadamente fríos o cálidos son los mismos que para temperaturas normales, las técnicas utilizadas para lograr curados se vuelven muy difíciles. Las técnicas de curado y protección para ambos tipos de climas extremos se deben planear con mucha anticipación.

El ACI 305 define clima cálido como: cualquier combinación de alta temperatura ambiente, baja humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar, que afecte la calidad de la mezcla fresca o del concreto endurecido.

En algunos documentos se complementa la definición anterior citando la temperatura mínima que debe exhibir la mezcla para que se dé la condición de concreto en clima cálido, el valor es 29⁰C. Sin embargo, un viento fuerte y rasante sobre una losa de concreto puede provocar una desecación mayor que la radiación solar directa, de ahí lo conveniente de sopesar la suma de fenómenos expuestos en la definición.

En lo que se refiere a las condiciones para elaborar y colocar concreto el ACI 306 define clima frío como: período en el que, por más de tres días consecutivos, se presentan la siguiente condición:

- Durante más de la mitad del día (o de un período de monitoreo de 24 horas) la temperatura del aire no supera los 10⁰C.

Aunque en la anterior definición no se cita la humedad relativa, ésta es de vital importancia cuando se trata de curar adecuadamente el concreto para que desarrolle todo su potencial. Una baja humedad relativa es de importancia al desencofrar el elemento no sólo por la fisuración que pueda provocar el choque térmico entre un medio ambiente muy frío y la masa de concreto caliente, sino por la desecación que puede generarse y que, por supuesto, va en detrimento de la hidratación del cemento.

Protección en clima frío

Siempre que, al momento de colado del concreto, el aire pueda alcanzar temperaturas de congelamiento, tome medidas de protección como se subraya en el ACI306R cuando la temperatura diaria media pudiera alcanzar arriba de los 4C, proteja el concreto recién colado del congelamiento solo durante las primeras 24 horas.

Temperatura de protección.- como se especifica en el ACI301, ACI306 Y ACI318, cuando se espera que las temperaturas diarias medias sean menores a 4C, proporcione calentamiento artificial y protección al concreto. Conserve las secciones delgadas del concreto con aire incluido recién colado, elaborado con cemento Tipo I o Tipo II, sin aceleración y a una temperatura no menor que, 10C durante seis días, para asegurar la resistencia bajo carga parcial. Conserve el concreto elaborado con cemento Tipo III (alta resistencia temprana), acelerante, o cemento extra o a menos de 10C durante 4días, para efecto de durabilidad y para elementos que soportan una parte de su carga de diseño. El calculista debe analizar la estructura para asegurarse de que no sean excedidos en esfuerzos

permisibles del concreto. El concreto sin aire incluido (no recomendado en donde la durabilidad ante la congelación y descongelación es necesaria) requiere aproximadamente dos veces estos periodos de protección.

Se requieren de pruebas de cilindros curados en el campo u otras pruebas de resistencia para confirmar la resistencia del concreto antes de ser cargado.

Al final del periodo de protección se debe interrumpir el calentamiento artificial y eliminar las cajas, de tal modo que la caída de temperatura en la superficie del concreto sea gradual y no exceda de 11C en 24horas para elementos de 30cm de espesor o menores (ACI306R). Si se permite que la temperatura baje con demasiada rapidez, habrá contracción excesiva de la superficie que ocasionara el agrietamiento.

Durante la protección se debe detener con suficiente prontitud el curado húmedo para que el concreto se seque un poco cuando la protección contra el congelamiento se detenga. Se debe llevar un registro de las temperaturas del aire exterior, del recinto y de la superficie del concreto. La temperatura de la superficie se mide normalmente con termómetros introducidos en el concreto con un recubrimiento de 1.6 a 3.2mm.

Protección.- el método preferido de protección a bajas temperaturas requiere aislamiento completo o “encerrar” el concreto fresco, con calentadores en el recinto cuando sea necesario. En una construcción sobre el terreno a menudo es incómodo circundar la superficie superior del concreto. Existen colchas de calentamiento eléctrico disponibles. En los casos que no sea práctico encerrar la parte superior, es necesario preparar un recinto parcial o un rompevientos para evitar que los vientos fríos congelen el concreto.



Figura 4.4.2 Protección del Pavimento en el proceso de Curado en Climas Fríos

La temperatura del aire dentro del recinto se puede conservar con vapor a baja presión o con calentadores de combustible o eléctricos. Se debe evitar que el calor y el aire seco excesivos de los calentadores soplen directamente sobre el concreto o puede ocurrir un secado rápido contracción.



Calentadores de Flama

- Directa
- Indirecta

Figura 4.4.2.2. Calentadores de Flama

Los calentadores de combustible deben ser adecuadamente ventilados o pueden causar una rápida carbonatación sobre la superficie del concreto, trayendo como consecuencia problemas posteriores de suciedad. Los problemas de secado y carbonatación durante el curado en clima frío se pueden evitar mediante la utilización de vapor saturado inyectado dentro

del recinto. Es muy importante que el recinto sea relativamente hermético y que el vapor se conserve tan cerca del punto de saturación como se pueda.

Durante el curado y la protección cerciórese de que todas las superficies del concreto están a la temperatura apropiada. No permita calentamiento excesivo en un lado de una sección, esto origina altos diferenciales de temperatura (arriba de 10C) entre los dos lados.

Curado en clima cálido

Un curado inapropiado durante los periodos de calor extremo puede causar una apariencia pobre y una baja resistencia del concreto originadas por la rápida y excesiva evaporación y el incremento de grietas por contracción plástica. El concreto colado a temperaturas superiores a 21 °C experimentara mayores requerimientos de agua, posible endurecimiento prematuro, dificultades para conservar la humedad y una resistencia relativamente menor a edades posteriores.

En un clima cálido y ventoso, si la rapidez de evaporación excede la recomendada por el ACI305, es necesario preparar un rompivientos, rociadores, hojas de plástico u otra protección para evitar el excesivo secado de la superficie de concreto antes de que ocurra el endurecimiento.

El curado se debe empezar tan temprano como sea posible, porque las demoras largas dan como resultado evaporación excesiva y agrietamiento. Deben evitarse los recubrimientos y los compuestos de curado de membrana de color oscuro, porque incrementan la ya alta temperatura superficial debido a la absorción y la radiación de calor.

Llévense registros precisos de la protección proporcionada al concreto, la temperatura, el tiempo de curado y tipo de curado utilizado.

Duración del curado

Sin importar el método seguido, el proceso de curado deberá comenzar tan pronto como se terminen las operaciones de acabado. Si el concreto se

empieza a secar excesivamente antes de finalizar las operaciones de acabado, la superficie se deberá proteger mediante roció humectante o una película monomolecular. La duración del curado varía con el método, la temperatura ambiental, la humedad del aire y el tipo de cemento. Con cualquier tipo de cemento, en temperaturas arriba de 5 °C, se recomienda normalmente siete días sin interrupción para curado con agua o curado con cubierta que retenga humedad. Este periodo de tiempo se puede reducir a tres días cuando se emplea concreto de alta resistencia temprana y las temperaturas son de 23 °C o superiores.

3.5. ALTERNATIVAS DE CURADO EN CLIMAS CALIDOS

3.5.1. Condiciones climáticas

Se define como clima calurosa a la combinación de las siguientes condiciones que tiendan a deteriorar la calidad de concreto recién mezclado o del endurecimiento al acelerar la rapidez de pérdida de humedad y la rapidez de hidratación del cemento, o que de otra manera produzca resultados perjudiciales:

- *Alta temperatura ambiental*
- *Alta temperatura del concreto*
- *Baja humedad relativa*
- *Velocidad del viento*
- *Radiación solar*

3.6. Tipos de curado

Como ya se ha mencionado anteriormente en el punto Técnicas de curado en pavimentos rígidos, los tipos de curado más efectivos en climas calurosos son:

- *Curado en húmedo*
- *Curado con membranas*

Seguidamente se mencionaran los productos que son utilizados para curar el pavimento en climas cálidos:

➤ **Antisol® S**

Antisol es un compuesto líquido para la formación de membranas de curado que al ser pulverizado sobre el hormigón fresco, adhiere a la superficie de éste, formando una película impermeable al agua y al aire, evitando la evaporación del agua de amasado y el secado prematuro del hormigón por efectos del sol y/o viento.

Antisol S ofrece una protección durable y consistente del hormigón fresco contra una evaporación demasiado rápida debido a la acción del sol y viento, por lo tanto previene el desarrollo de fisuras superficiales en la mezcla de cemento en proceso de endurecimiento.

Es especialmente apropiado para el tratamiento de superficies verticales donde la previsión es realizada para la posterior protección de la estructura sin efectos Negativos

Ventajas Antisol S hace las superficies muy resistentes y compactas debido a que es residuo del producto cierra todos los poros superficiales del hormigón incorporándose a éste.

Además, la película no impide la adherencia de tratamientos posteriores o pinturas.

Adicionalmente se puede caminar (tráfico ligero) sobre las áreas tratadas sólo después de 24 horas.

Por su pigmentación blanca, la membrana formada tiene gran refractancia a la luz solar, con lo cual se impide la absorción de calor por el hormigón y por ende se evita que aumente la temperatura del mismo.

3.7. INFLUENCIA DEL CURADO EN PROPIEDADES DEL HORMIGON

En el curado: el cemento requiere de cierta cantidad de agua para hidratarse (en promedio 25% de la masa de cemento), sin embargo para garantizar, en toda la masa de concreto, disponibilidad de agua de hidratación para el cemento es conveniente contar con una cantidad mayor, ya que la hidratación sólo es posible en un espacio saturado. Esto no es un inconveniente ya que aún un concreto de baja relación agua/cementante, por ejemplo 0,45, tiene un 80% de agua por encima de lo requerido por el cemento para hidratarse, sin embargo la prematura desecación del concreto puede reducir el agua en la mezcla, especialmente en elementos laminares, a niveles donde la hidratación será incompleta. En la medida en que haya suficiente agua el cemento continuará hidratándose hasta que todos los espacios de poros disponibles se vean colmados con los productos de hidratación o hasta que no haya más cemento para hidratar.

La clave para el desarrollo tanto de la resistencia mecánica como de las características de durabilidad del concreto, no es tanto el grado de hidratación del cemento, como el grado en que los poros entre partículas de cemento se hayan llenado con los productos de hidratación, dicho de otra manera: la resistencia y la durabilidad dependen fundamentalmente del grado de porosidad de la matriz del concreto.

Una variable muy importante como es la permeabilidad, propiedad directamente relacionada con la durabilidad y resistencia a un ambiente agresivo, en función del tiempo de curado

Entre mayor sea la relación agua/cemento mayor tiempo de curado es necesario para lograr el mismo nivel de permeabilidad. Esto permite concluir que el nivel de llenado de los poros con productos de hidratación depende no sólo del grado de hidratación del cemento sino del volumen inicial de poros en la pasta. Así un concreto con baja relación agua/cemento requerirá un menor grado de hidratación para conseguir cierto nivel de porosidad deseado. Volviendo a la definición de curado, resalta en ella, también, la importancia que tiene para una correcta hidratación y desarrollo de las propiedades mecánicas el calor. Para lograr la hidratación del cemento y que el concreto fragüe y endurezca, es necesario que la temperatura de la mezcla supere los 5°C , requerimiento que no es difícil de lograr en nuestro medio, pero que puede constituirse en todo un reto en ciertas aplicaciones (reparaciones de losas en cuartos fríos, colocación de concreto en alta montaña o en ciudades donde se presenten heladas) y, por supuesto, en países con estaciones. Así como con bajas temperaturas los procesos de hidratación, endurecimiento y ganancia de resistencia se ven retardados, en climas cálidos estos procesos se aceleran. Mientras una mezcla curada a bajas temperaturas puede alcanzar a los 28 días una resistencia igual o mayor que la de diseño, en climas cálidos se genera un rápido desarrollo de resistencia inicial pero, si el proceso de curado es inadecuado o insuficiente, es factible que no se alcance la resistencia potencial del concreto.

3.8. CONTROL DE CALIDAD EN EL CURADO DE PAVIMENTOS RIGIDOS

Para realizar el control de calidad en el curado de pavimentos rígidos se deben realizar diferentes pruebas que se describirán a continuación:

- 3.8.1. Las pruebas en muestra de concreto fresco y la preparación de los especímenes se deberán realizar de acuerdo con los métodos estándar de prueba ASTM. La muestra debe ser tan representativa como sea posible de la resistencia esperada y de otras propiedades del concreto entregado en obra. Las altas temperaturas, la baja humedad relativa y los vientos secos son particularmente perjudiciales para la muestra de concreto fresco que se usa en la ejecución de las pruebas y en la preparación de los especímenes. Si la muestra se deja expuesta a la acción del sol, el viento o aire seco, se invalidaran los resultados de pruebas.
- 3.8.2. En ocasiones es recomendable efectuar las pruebas de revenimiento, contenido de aire, temperatura del concreto y peso volumétrico con mayor frecuencia que en condiciones normales.
- 3.8.3. El factor más importante que afecta la contracción plástica es la rapidez de evaporación, considerando la temperatura ambiente, la humedad relativa y la velocidad del viento. La rapidez de evaporación se puede determinar con más precisión al dejar que se evapore el agua de un molde para que tenga un área el orden de 1ft^2 (0.093m^2). El molde se llena de agua y se pesa cada 15 o 20 minutos a fin de determinar la velocidad de evaporación que será igual a la pérdida de la masa de agua del molde. Una balanza de al menos 5.5 libras (2500g) de capacidad será satisfactoria.
- 3.8.4. Se deberá prestar atención especial a la protección y curado de los especímenes para pruebas de resistencia que se usen como patrón para la aceptación del concreto. Debido a su tamaño pequeño en relación con la mayoría de las partes de la estructura, los

especímenes de pruebas se ven afectados más fácilmente por los cambios en la temperatura ambiente. Se necesitara un cuidado especial en climas calurosos para mantener los especímenes de prueba de resistencia a una temperatura de 16 a 27⁰C y para evitar pérdidas de humedad durante el periodo inicial de curado, de conformidad con la norma ASTM C31/C31M. De ser posible, los especímenes se deberán proteger con una cubierta impermeable y colocarse en un lugar de la obra con control de temperatura inmediatamente después de moldeados. Si se almacenan al aire libre, se deberá evitar que se expongan al sol y el efecto del enfriamiento originado por la evaporación del agua se deberá usar para ayudar a satisfacer las condiciones de curado especificadas. A continuación se presentan algunos métodos que se han usado en la práctica para proteger moldes de prueba sin potencial de absorción:

- Enterrarlos en arena húmeda. Se deberá cuidar que la arena se mantenga continuamente húmeda (no debe usarse con moldes de cartón).
- Cubrirlos con yute humedecido. Se deberá cuidar que el yute siempre este húmedo y que no esté en contacto con el concreto.
- Rociarlos continuamente por nebulización. Se deberán evitar interrupciones en la aplicación del rociado.
- Inmersión completa en agua (no debe usarse con moldes de cartón). Los especímenes se podrán sumergir inmediatamente después del moldeo en agua saturada de cal. Ya que los especímenes se preparan a base de cemento hidráulico, que endurece bajo el agua, los cilindros de muestra no necesitan protegerse con una tapa aunque

generalmente si lo están como medida de precaución contra danos externos.

3.8.5. Los moldes no deberán ser el tipo potencialmente absorbente que se expandan en contacto con el agua o cuando se sumerjan en el líquido. Los moldes deben cumplir los requerimientos ASTM C470. No bastara la simple protección de la parte superior del cilindro de prueba con una tapa o placa en el caso de climas calurosos para evitar la pérdida de humedad y para mantener la temperatura inicial de curado establecida. Durante el transporte al laboratorio de pruebas los especímenes se deberán conservar húmedos y además protegerlos y manejarlos con cuidado. Posteriormente se deberán almacenar en un ambiente húmedo a $(23 \pm 1.7 \text{ }^{\circ}\text{C})$ hasta el momento en se vayan a ensayar.

3.8.6. Además de los especímenes que se necesiten para aceptación, se deberán preparar y curar otros más en la obra que ayuden a determinar el momento oportuno para retirar la cimbra, para quitar el apuntalamiento y para definir cuando el colado se puede poner en servicio. A menos que los especímenes usados con este fin se curen en el mismo lugar y lo más cercano posible a las mismas condiciones que las de colado, los resultados de las pruebas pueden malinterpretarse.

3.9. VALORACION DEL PAVIMENTO CON REFERENCIA AL CURADO

En sentido práctico curar el concreto es garantizar las condiciones óptimas de humedad y temperatura necesarias para que el concreto desarrolle su resistencia potencial (compresión y flexión), se reduzca la porosidad de la

pasta, en especial en el recubrimiento de concreto sobre las armaduras, haciendo que el ingreso de humedad y agresivos hacia el interior del elemento de concreto endurecido se vea disminuido garantizando, así, que la estructura cumpla con la vida útil de diseño requerida por el propietario.

En consecuencia es necesario curar el concreto, regando agua sobre su superficie, cuando existan las condiciones suficientes para considerar que el concreto, por sí solo, no tendrá suficiente agua para desarrollar sus propiedades o, aunque es suficiente, una buena parte se evaporará de la mezcla debido a la incidencia de factores externos que actúan sobre la superficie libre del elemento.

Un buen y oportuno curado aumenta la resistencia a la abrasión de pisos de concreto, vías y obras hidráulicas, reduce la posibilidad de aparición de grietas por contracción plástica, y, aunque no la puede evitar, retarda la contracción de secado haciendo que se desarrolle a una edad de la estructura tal que la resistencia mecánica, especialmente a tensión, haya alcanzado un nivel suficientemente alto para que pueda contribuir, en unión con la armadura, a controlar el agrietamiento.

Al permitir una buena hidratación, el concreto mejora en varios sentidos:

- Incrementa la resistencia al desgaste
- Mejora la dureza superficial
- Mejora la resistencia y durabilidad

Como se aprecia en la enumeración de bondades del curado hecha anteriormente, son tantos los beneficios del curado para las losas del pavimento rígido que dicha práctica no debería ser opcional en las obras, el curado debe especificarse adecuadamente y su cumplimiento debe ser controlado estrictamente por la interventoría, pero lo más importante de todo: el curado de la estructura debe ser retribuido económicamente, como cualquier otra actividad de obra, ya que el no pago es la principal razón para que se descuide su ejecución.

3.10. VENTAJAS Y LIMITES DE PRODUCTOS DE CURADO

El método de curado en húmedo es el método más eficiente para desarrollar la resistencia del concreto y minimizar la contracción por secado prematuro.

Pero a la vez se debe tener mucho cuidado cuando se aplique por rociado, para evitar la erosión de la superficie.

Además que se debe verificar que el agua este limpia y libre de impurezas.

La tela u otras cubiertas mojadas deben estar limpias para no manchar el concreto. El yute nuevo o viejo que este contaminado puede manchar el concreto.

Las manchas pueden ser ocasionadas por agua con algún contenido de hierro, por tubos ferrosos utilizados para esparcir el agua de curado, o por otros agentes que ensucian el agua.

Si utiliza tierra o arena mojada como agente de curado, asegúrese de que no contenga terrones o piedras granulares y consérvela continuamente mojada. Además asegúrese de que no contenga cantidades de materia orgánica dañinas u otras sustancias que puedan dañar al concreto.

CAPITULO V

3. APLICACIÓN PRACTICA

3.1. DEFINICION DE LA INVESTIGACION

La investigación se realiza para determinar cuál es la mejor alternativa de curado para pavimentos construidos en condiciones desfavorables, ya sea temperaturas extremadamente altas y extremadamente bajas.

3.2. HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION

El tener que tomar precauciones y cuidados destinados a proteger el pavimento rígido de climas agresivos en el proceso de curado, asegura la obtención de una resistencia óptima a tempranas edades, mayor durabilidad del pavimento y disminuye además el fisuramiento prematuro en las losas.

3.3. CARACTERIZACION DE MATERIALES

3.3.1. AGREGADOS

GRANULOMETRÍA

El primer ensayo realizado fue la granulometría de los áridos, para lo cual se utilizó por un lado los tamices: 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y N^o 4, para el agregado grueso y por otro lado se utilizaron los tamices: 3/8", N^o4, N^o 8, N^o16, N^o30, N^o50 y N^o100 para el agregado fino.



Figura 5.3.1.1. Granulometria A-Grueso



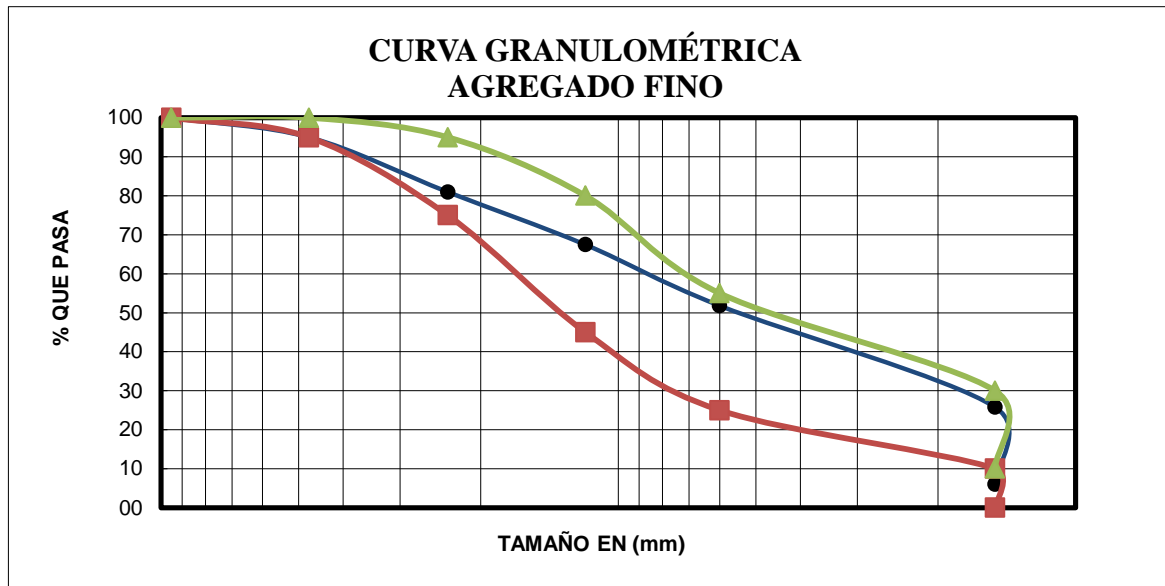
Figura 5.3.1.2. Granulometria A-fino

De dichos ensayos se obtuvieron los siguientes resultados:

Agregado Fino

N°	tamaño	% que pasa del total	Especificación	
	(mm)		AASHTO T-27 T-11	
3/8	9,50	100,0	100	100
N°4	4,75	95,0	95	100
N°8	2,36	81,0	-	-
N°16	1,18	67,5	45(4)	80
N°30	0,60	51,8	-	-
N°50	0,15	25,8	10	30
N°100	0,15	6,0	2	10(2)
BASE		0,7	-	-

Tabla 5.3.1. Granulometría del Agregado Fino

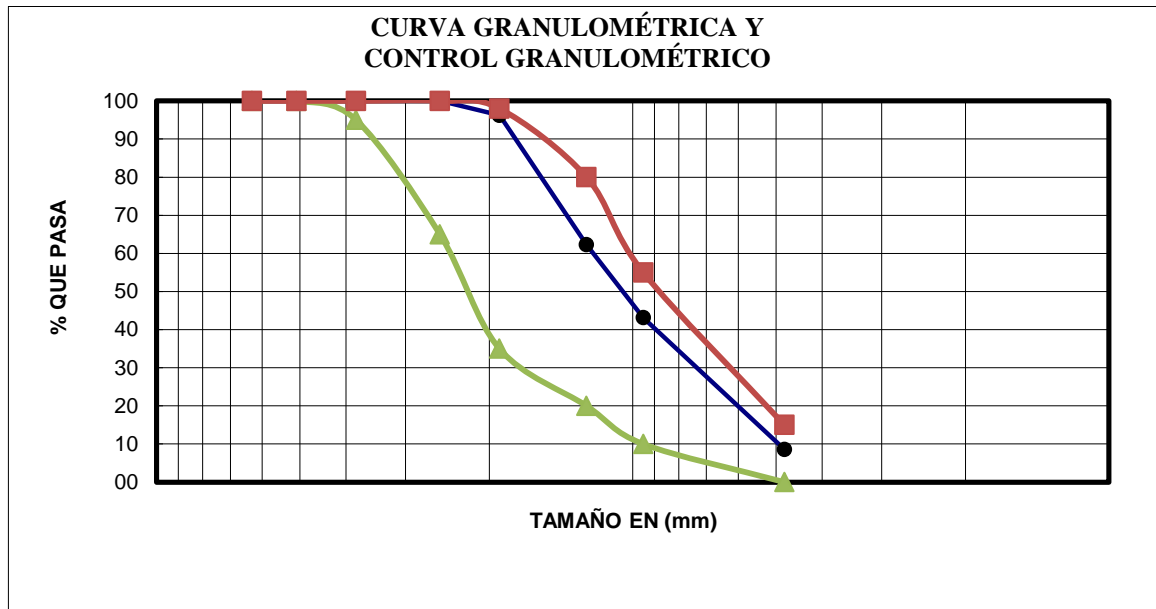


Curva 5.3.1. Granulometrica del Agregado Fino

Agregado Grueso

Tamices	Tamaño (mm)	% Que pasa del total	% Que pasa s/g Especif. AASHTO T-11	
2 1/2"	63	100,0	-	-
2	50,8	100,0	-	-
1 1/2	38,10	100,0	-	-
1	25,40	100,0	100	100
3/4	19,05	96,2	90	100
1/2	12,50	62,3	-	-
3/8	9,50	43,1	20	55(5)
N°4	4,80	8,6	0	10(5)
BASE	0	0,0	0	5

Tabla 5.3.2. Granulometria del Agregado Grueso



Curva 5.3.2. Granulometrica del Agregado Grueso

PESO ESPECÍFICO:

Figura 5.3.2.1. Peso Especifico del A-Grueso Figura 5.3.2.2. Peso Especifico A-Fino

Para la determinación del peso específico de la grava se utilizó aproximadamente unos 18000 gramos de muestra saturándola por 24 horas.

Se realizó el ensayo respectivo tres veces para disminuir el margen de error.

Para la determinación de dicho peso específico se emplearon las siguientes formulas:

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{B - C}$$

$$W \text{ específico/cond. saturado y supf. seca} = \frac{B}{B - C}$$

$$\% \text{ de Absorción} = (B - A/A) \times 100$$

Dónde:

A: peso de la muestra secada en el horno

B: peso de la muestra saturada pero con superficie seca en gr.

C: peso de muestra saturada dentro del agua

Y los resultados obtenidos fueron:

Agregado Grueso	gr/cm ³
Peso específico saturado	
de superficie seca	2.57
Peso específico a granel	2.51
Peso específico aparente	2.67
% Absorción	2.28

Tabla 5.3.2.1. Resultados obtenidos de Peso Específico del Agregado Grueso

Asimismo, se procedió a realizar el ensayo de peso específico del agregado fino, para lo cual se utilizaron 1500 gramos aproximadamente, y se utilizaron las siguientes fórmulas para sus respectivos cálculos:

$$\text{Peso específico a granel} = \frac{A}{V - W}$$

$$\text{Peso específico en condición SSS} = \frac{A}{((V - W') - (500 - A))}$$

$$\% \text{ de Absorción} = (500 - A) * 100 / A$$

Donde los resultados obtenidos de respectivo ensayo fueron:

Agregado Fino	gr/cm ³
Peso específico saturado	
de superficie seca	2.59
Peso específico a granel	2.48
Peso específico aparente	2.78
%Absorción	4.15

Tabla 5.3.2.2. Resultados obtenidos de Peso Específico del Agregado Fino

PESO UNITARIO.

Para el peso unitario se utilizaron los moldes cilíndricos de 3Litros de capacidad para el agregado fino y de 14Litros para el agregado grueso.

Se trabajó con material en estado natural y se determinó el peso unitario suelto y peso unitario compactado de ambos agregados.



Figura 5.3.3.2. Peso Unitario del A-Fino



Figura 5.3.3.1. Peso Unitario A-Grueso

Los pesos unitarios obtenidos fueron:

Agregado Grueso	gr/cm ³
Peso Unitario Suelto	1.397
Peso Unitario Compactado	1.461

Tabla 5.3.3.1. Peso Unitario Agregado Grueso

Agregado Fino	gr/cm ³
---------------	--------------------

Peso Unitario Suelto	1.674
Peso Unitario Compactado	1.693

Tabla 5.3.3.1. Peso Unitario Agregado Fino

DESGASTE DE LOS ANGELES

Para poder obtener la resistencia de la grava con la que se trabajó, se realizó el ensayo de desgaste de los ángeles, para lo cual se utilizó la granulometría de la muestra de Tipo B de la siguiente tabla debido a la granulometría del material.

TAMICES (abertura cuadrada)		GRANULOMETRÍA DE LASMUESTRAS (peso en gramos)			
PASA	RETENIDO	A	B	C	D

Mm	Pulgadas	Mm	Pulgadas				
37.5	(1 ½)	25,0	(1)	1250 ± 25			
25.0	(1)	19,0	(¾)	1250 ± 25			
19.0	(¾)	12,5	(½)	1250 ± 10	2500 ± 10		
12.5	(½)	9,5	(⅜)	1250 ± 10	2500 ± 10		
9.5	(⅜)	6,3	(¼)			2500 ± 10	
6.3	(¼)	4,75	(N°4)			2500 ± 10	
4.75	(N°4)	2,36	(N°8)				5000±10
TOTAL.....				5000±10	5000 ±10	5000 ±10	5000 ±10

Tabla 5.3.4.1. Especificaciones de la Granulometría de la muestra (Ensayo:
Desgaste de Los Ángeles)

De la siguiente tabla se determinó el número de esferas que se introdujo en el tambor, las cuales fueron 11 según el tipo de Gradación B del agregado.

Gradación	# de esferas	Peso de la carga (gr.)	% de Desgaste
-----------	--------------	------------------------	---------------

A	12	5.000 ± 25	33.5
B	11	4.584 ± 25	-----
C	8	3.030 ± 20	-----
D	6	2.500 ± 15	-----
E	12	5.000 ± 25	-----
F	12	5.000 ± 25	-----
G	12	5.000 ± 25	-----

Tabla 5.3.4.2. Numero de Esferas Utilizadas en Ensayo: Desgaste de Los Ángeles



Figura 5.3.4. Maquina de Desgaste de Los Angeles (Laboratorio del SEDECA)

El porcentaje de desgaste obtenido de la grava con la que se trabajo fue de 21.4%.

EQUIVALENTE DE ARENA

Este ensayo se lo realizo en el Laboratorio del Servicio Departamental de Caminos (SEDECA), con el principal objetivo de determinar el equivalente de arena en el agregado fino con el que se realizo la dosificacion del Hormigon.

Los resultados obtenidos de dicho ensayo fueron de: 94.5% \geq 75% resultado que satisface el valor establecido por la AASHTO T-176 para pavimentos rigidos.

CEMENTO

Peso específico

Para comprobar el peso específico del cemento que viene especificado en la bolsa de dicho material, se realizó el ensayo de peso específico del cemento, para el cual se utilizaron 64 gramos del mismo.

El peso específico obtenido fue de 3.14gr/cm^3

Finura del Cemento:



Figura 5.3.5. Tamices N 40 – N 200 utilizados en el Ensayo Finura del Cemento

Para la finura del cemento se utilizaron 50 gramos del mismo y se trabajó con los tamices N^o 40 y N^o200, pesando los pesos retenidos en los mismos.

Para la determinación de la finura se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Finura \%} = \left(\frac{\text{peso retenido en malla 200}}{50} \right) * 100$$

El cemento utilizado para el respectivo ensayo fue el cemento “El Puente”. Y la finura obtenida fue de: 75.63 %

3.4. DOSIFICACION DE HORMIGON

La dosificación de las probetas se la realizo por el método ACI para un Hormigón H25.

Para dicha dosificación se trabajó con los siguientes resultados obtenidos de la caracterización de los materiales.

CARACTERISTICAS DE LOS AGREGADOS			
ENSAYO		Unidad	Valor
1.-	Modulo de finura de la arena (MF)	s/u	2.73
2.-	Peso unitario Compactado de la grava (PUC)	kg/m ³	1461
3.-	Peso específico de la arena (γ_f)	gr/cm ³	2.80
4.-	Peso específico de la grava (γ_g)	gr/cm ³	2.67
5.-	Absorción de la arena (Aa)	%	4.24
6.-	Absorción de la Grava (Ag)	%	2.3
7.-	Humedad de la Arena (Ha)	%	2.47
8.-	Humedad de la Grava (Hg)	%	0.87
9.-	Tamaño máximo Nominal (TMN)	pulg	1"
10.-	Tamaño Máximo (TM)	pulg	1"
11.-	Peso específico del cemento	gr/cm ³	3.14
CARACTERISTICAS DEL DISEÑO			
	Resistencia de diseño (fck´)	250	kg/cm ²
	Resistencia Característica (fck) (Tabla 11.12)	335	kg/cm ²
	Asentamiento (S) (Tabla 11.4)	2	pulg
	Relacion Agua / Cemento (a/c) (Tabla 11,13)	0.51	s/u
	Vol. Agr. Grueso / Vol. unitario concreto (b/bo) (Tabla 11.15)	0.677	s/u
	Requerimiento de Agua (A) (Tabla 11.6)	183	kg/m ³

Tabla 5.4.1 Características de Agregados y de Diseño para la Dosificación

Los resultados obtenidos de dicha dosificación fueron:

PESOS SECOS DE LOS INGREDIENTES POR (m³) DE CONCRETO			
Ingredientes	Peso Seco	Volumen Absoluto	Peso específico
	kg/m³	lt/m³	gr/cm³
Cemento	358.82	114.28	3.14

Agua	183	183	1
Grava	989.097	371.11	2.67
Arena	928.52	331.61	2.80
TOTAL	2459.44	1000.00	

Tabla 5.4.2. Resultados en peso por metro cubico de la dosificación

PROPORCIONES DE MEZCLA		
Cemento	Arena	Grava
1.0	2.6	2.8

Tabla 5.4.3. Resultados en proporciones de la dosificación

3.5. VACIADO DE HORMIGON EN PROBETAS DE PRUEBA



Figura 5.5.1 Probetas de prueba vaciadas, compactadas y acabadas.

Una vez obtenidos los resultados de la dosificación se procedió a vaciar nueve probetas para comprobar que dicha dosificación cumpla con la resistencia característica.

De las nueve probetas vaciadas, se rompieron tres a los 7 días, otras tres a los 14 días y las tres restantes a los 28 días.

Los resultados obtenidos de la rotura de estas probetas fue el siguiente:

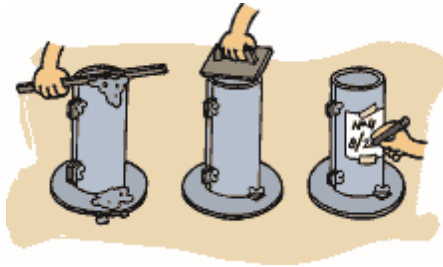
Probeta Nº	ESTRUCTURA	Hormigón – Identificación	Resistencia (kg/cm ²)	Proyección 28días (kg/cm ²)
1	Pavimento	Probeta 1	181.78	252.34
2	Pavimento	Probeta 2	176.09	244.44
3	Pavimento	Probeta 3	181.78	252.34
4	Pavimento	Probeta 4	187.47	260.24
5	Pavimento	Probeta 5	181.78	252.34
6	Pavimento	Probeta 6	187.47	260.24
7	Pavimento	Probeta 7	193.16	268.14
8	Pavimento	Probeta 8	187.47	260.24
9	Pavimento	Probeta 9	181.78	252.34

Tabla 5.5.1. Resultado de Probetas Dosificadas para Comprobar la Resistencia Característica del Hormigón (250Kg/cm²)

Al verificar que todas las probetas cumplían con la resistencia requerida se procedió al vaciado de las demás probetas para seguir con la investigación.

Es importante recalcar que el vaciado de todas las probetas, se lo ejecuto después de haber lavado tanto el agregado grueso como el fino, se verifico el asentamiento de todas las dosificaciones realizadas, se compacto en tres capas de 25 golpes cada una de las probetas, se golpeó con un martillo de goma, para poder quitar el aire que

quedaba atrapado, se engrasó y realizó el acabado correspondiente a cada una de las probetas y se las dejó inmóviles durante 24 horas antes de ser desmoldadas.



3.6. INVESTIGACION DEL CURADO

3.6.1. POR VARIABILIDAD DE TIPO DE CURADO

Para esta investigación fueron seleccionadas diferentes metodologías de curado, para poder determinar cuál de ellas se constituye la mejor alternativa en diferentes condiciones ambientales desfavorables, que se podrían presentar durante el proceso de curado de un pavimento de hormigón.

Las metodologías elegidas fueron:

- Curado con arena
- Curado con mantas
- Curado con agua
- Curado con antisol S
- Sin curar



Figura 5.6.1.1 Curado con mantas



Figura 5.6.1.2 Curado con arena



Figura 5.6.1.3 Curado con Antiso S



Figura 5.6.1.4 Curado con agua

POR VARIABILIDAD DE GRADIENTE TERMICA

Una vez terminado el vaciado de las probetas de prueba, ya habiendo seleccionado los distintos métodos de curado, se procedió a preparar los distintos ambientes a los cuales fueron sometidas las probetas.

Se analizó lugares donde existían gradientes térmicas elevadas, con datos del Senhami y los lugares escogidos con gradientes térmicas elevadas fueron de Bermejo y Campanario.

Por un lado Bermejo nos presenta una Temperatura Media Máxima de 42°C en el mes de Octubre y una Temperatura Media Mínima de 10°C aproximadamente, y por el otro extremo tenemos una Temperatura Media Mínima de -2°C en el mes de Julio y una Temperatura de 15°C como Máxima en el mismo mes.

El tiempo de curado de todas las probetas fue de 7 días.



Figura 5.6.2.1 Curado en el Horno



Figura 5.6.2.2 Temperatura de Horno

Se realizó el curado de probetas por medio de arena, agua, mantas, antisol S y sin curar para elevadas temperaturas, ambiente que fue generado por el Horno del laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.



Figura 5.6.2.3 Curado en el Freezer Figura 5.6.2.4 Temperatura mínima -2°C

Paralelamente se realizó el curado de probetas de 6" x 12" en bajas temperaturas, para lo cual se utilizó un freezer en el cual con la ayuda de un termómetro se fue verificando constantemente la temperatura.



Figura 5.6.2.5. Curado en Condiciones Normales

Y de igual manera se seleccionaron probetas para el curado en condiciones normales (20°C), las cuales fueron curadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.7. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la resistencia a compresión para las probetas de prueba de la dosificación fueron:

1. Elevadas Temperaturas

Altas temperaturas					
TIPO DE CURADO	Edad (días)	Sección (cm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Proyección 28 días (kg/cm ²)	Proyección 28 días Promedio (kg/cm ²)
arena	7	176.63	182.73	253.66	
arena	7	176.63	181.78	252.34	254.53
arena	7	176.63	185.57	257.61	
agua	7	176.63	191.26	265.51	
agua	7	176.63	189.37	262.88	262.44
agua	7	176.63	186.52	258.92	
manta	7	176.63	164.70	228.64	
manta	7	176.63	157.11	218.10	220.74
manta	7	176.63	155.22	215.47	
sin curar	7	176.63	102.09	141.72	
sin curar	7	176.63	102.09	141.72	139.97
sin curar	7	176.63	98.30	136.46	

antiso s	7	176.63	196.96	273.41	
antisol s	7	176.63	195.06	270.78	270.78
antisol s	7	176.63	193.16	268.14	

Tabla 5.7.1 Resultados de la Resistencia a Compresión de Probetas con diferentes tipos de Curado y sometidas a Elevadas Temperaturas

2. Condiciones Normales

Condiciones Normales					
Probeta N°	TIPO DE CURADO	Hormigón – Identificación	Resistencia (kg/cm ²)	Proyección 28 días (kg/cm ²)	Proyección 28 días Promedio (kg/cm ²)
1	Arena	H25	181.78	252.34	
2	Arena	H25	176.09	244.44	249.71
3	Arena	H25	181.78	252.34	
4	Agua	H25	187.47	260.24	
5	Agua	H25	187.47	260.24	260.24
6	Agua	H25	187.47	260.24	
7	frazada	H25	176.09	244.44	
8	frazada	H25	176.09	244.44	241.81

9	frazada	H25	170.39	236.54	
10	sin curar	H25	113.48	157.53	
11	sin curar	H25	107.79	149.62	157.53
12	sin curar	H25	119.17	165.43	
13	antisol s	H25	193.16	268.14	
14	antisol s	H25	187.47	260.24	265.51
15	antisol s	H25	193.16	268.14	

Tabla 5.7.2. Resultados de la Resistencia a Compresión de Probetas con diferentes tipos de Curado y sometidas a Condiciones Normales

3. Bajas Temperaturas

Bajas temperaturas					
TIPO DE CURADO	Edad (días)	Sección (cm²)	Resistencia (kg/cm²)	Proyección 28 días (kg/cm²)	Proyección 28 días Promedio (kg/cm²)
arena	7	176.63	165.65	229.95	
arena	7	176.63	166.60	231.27	232.59
arena	7	176.63	170.39	236.54	
agua	7	176.63	179.88	249.71	

agua	7	176.63	178.93	248.39	249.27
agua	7	176.63	179.88	249.71	
manta	7	176.63	182.73	253.66	
manta	7	176.63	179.88	249.71	250.15
manta	7	176.63	177.98	247.07	
sin curar	7	176.63	105.89	146.99	
sin curar	7	176.63	103.99	144.36	143.48
sin curar	7	176.63	100.20	139.09	
antiso s	7	176.63	172.29	239.17	
antisol s	7	176.63	174.19	241.81	244.44
antisol s	7	176.63	181.78	252.34	

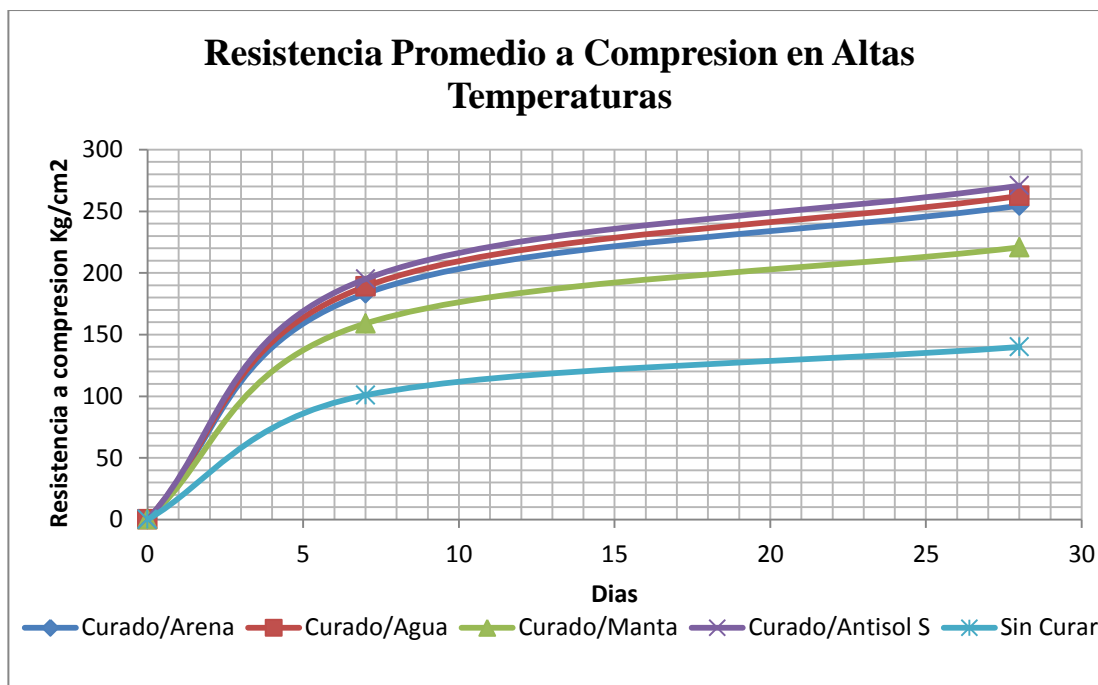
Tabla 5.7.3. Resultados de la Resistencia a Compresión de Probetas con diferentes tipos de Curado y sometidas a Bajas Temperaturas

3.8. ANALISIS DE RESULTADOS

Resistencia Promedio Según el Tipo de Curado					
Días	Arena(Kg/cm2)	Agua	Manta	Sin Curar	Antisol

	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	S(Kg/cm2)
0	0	0	0	0	0
7	183.36	189.05	159.01	100.83	195.06
28	254.53	262.44	220.74	139.97	270.78

Tabla 5.8.1. Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días de Probetas con diferentes tipos de Curado y sometidas a Altas Temperaturas



Curva 5.8.1. Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días de Probetas con diferentes tipos de Curado y sometidas a Altas Temperaturas

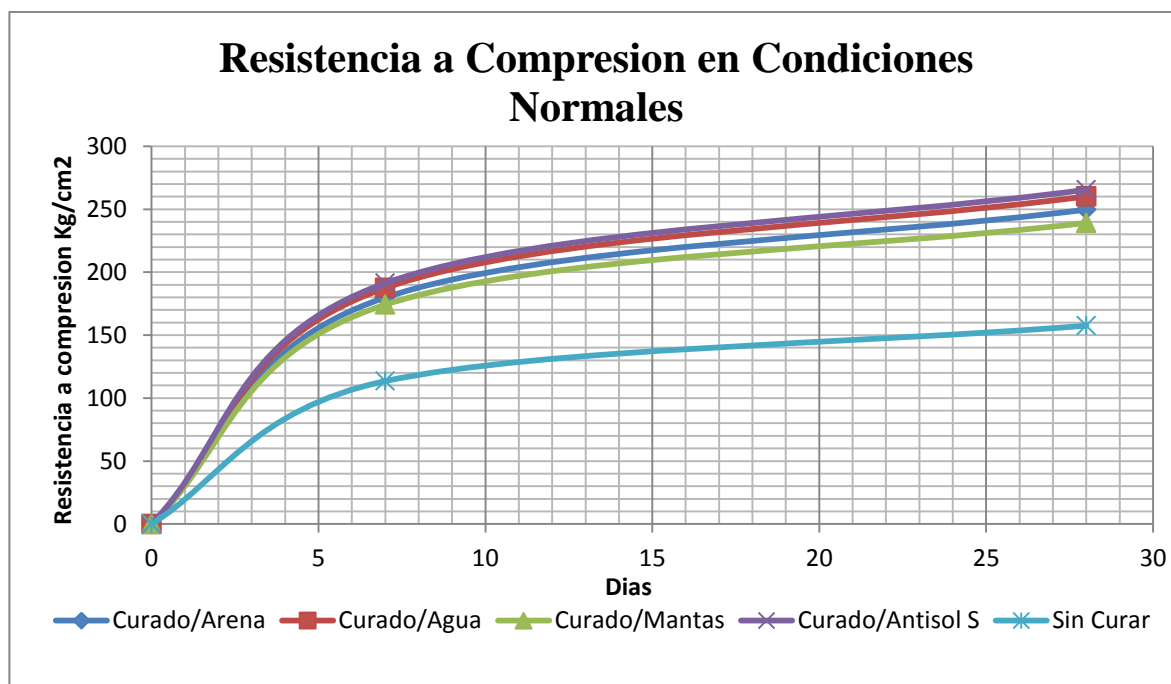
En esta grafica se puede observar claramente que las mejores alternativas de curado para pavimentos rígidos que sean construidos en elevadas temperaturas son:

El curado con Antisol S y el curado con arena humedecida y el curado con agua, ya que con ambas metodologías se llega a cumplir con la resistencia característica de los 250 Kg/cm^2 .

Condiciones Normales

Resistencia Promedio según el Tipo de Curado					
Días	Arena (Kg/cm ²)	Agua(Kg/cm ²)	Manta (Kg/cm ²)	Sin Curar (Kg/cm ²)	Antisol S(Kg/cm ²)
0	0	0	0	0	0
7	179.88	187.47	174.19	113.48	191.26
28	249.71	260.24	239.17	157.53	265.51

Tabla 5.8.2. Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días de Probetas con diferentes tipos de Curado y sometidas a Condiciones Normales



Curva 5.8.2. Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días de Probetas con diferentes tipos de Curado y sometidas a Condiciones Normales

En condiciones normales se demuestra que sin duda la metodología más adecuada para curar el pavimento rígido es el Antiso S ya que se llegó a una resistencia de 265Kg/cm^2 de resistencia a los 28 días de edad, al igual que el curado con agua.

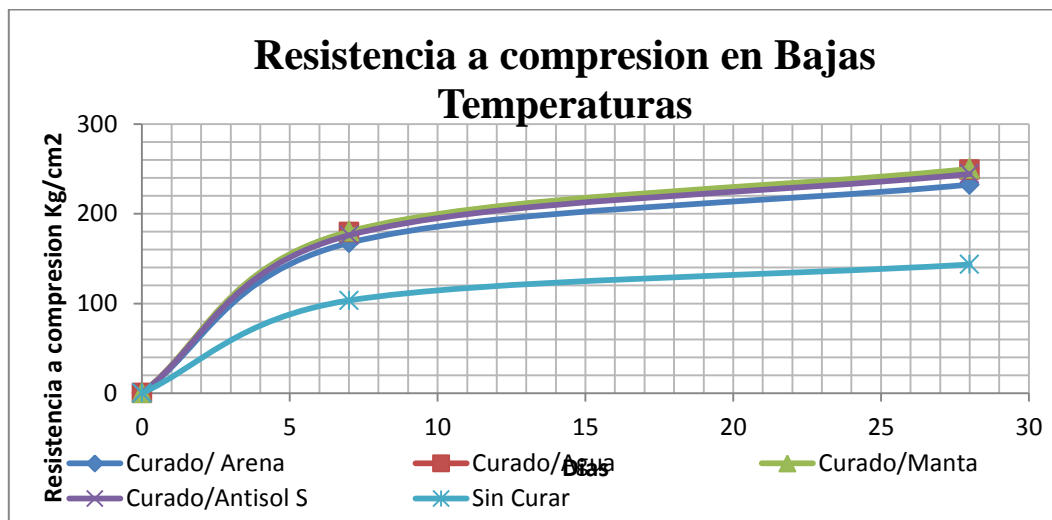
El curado con arena llegó a una resistencia de 249.71Kg/cm^2 siendo este el segundo método apto para el curado de pavimentos rígidos en condiciones normales.

Por otro lado podemos observar que en las probetas que se utilizaron mantas como medio de curado, no son los adecuados para este tipo de clima ya que su resistencia apenas alcanzó los 239.17Kg/cm^2 .

Bajas Temperaturas

Resistencia Promedio según el Tipo de Curado					
Días	Arena (Kg/cm ²)	Agua(Kg/cm ²)	Manta (Kg/cm ²)	Sin Curar (Kg/cm ²)	Antisol S(Kg/cm ²)
0	0	0	0	0	0
7	167.55	179.56	180.20	103.36	176.09
28	232.59	249.27	250.15	143.48	244.44

Tabla 5.8.3. Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días de Probetas con diferentes tipos de Curado y sometidas a Bajas Temperaturas



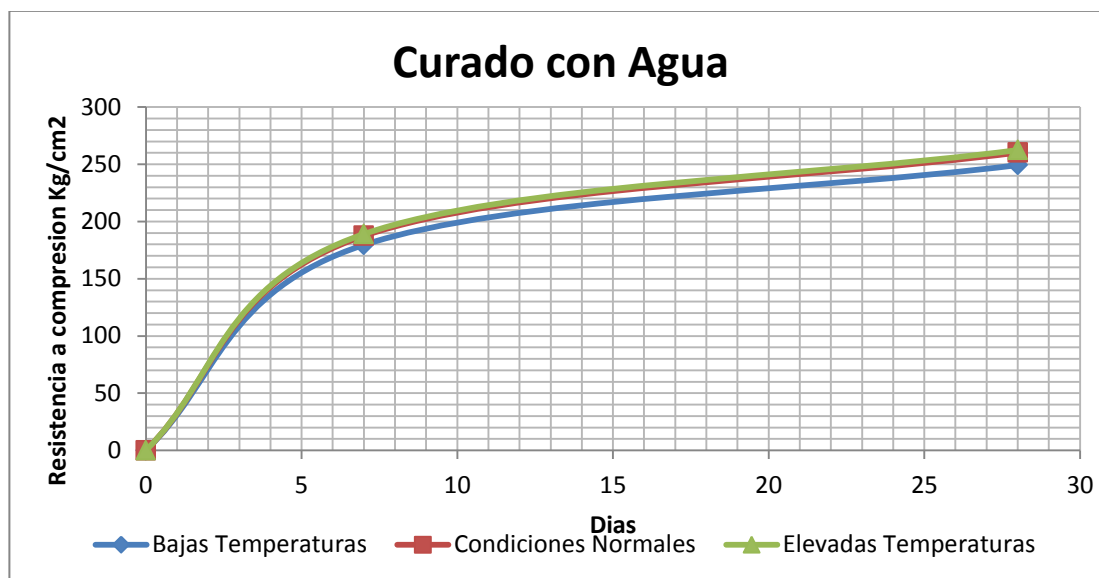
Curva 5.8.3. Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días de Probetas con diferentes tipos de Curado y sometidas a Bajas Temperaturas

El curado con mantas como protección al pavimento llego a una resistencia de 250.15Kg/cm^2 , mientras que los curados realizados con arena, agua y antisol s no llegaron a cumplir con la resistencia característica. Lo cual nos indica que la mejor alternativa de curado cuando se presenten bajas temperaturas es sin duda, el curado con agua pero utilizando mantas de protección para el pavimento.

Las siguientes graficas y tablas nos permitiran analizar para cada tipo de curado la resistencia a la que se llego a las distintas temperaturas.

Curado con Agua			
Resistencia	Resistencia a Compresión Kg/cm2		
Días	Bajas Temperaturas	Condiciones Normales	Altas Temperaturas
0	0	0	0
7	179.56	187.47	189.05
28	249.27	260.24	262.44

Tabla 5.8.4. Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días de Probetas Curadas con Agua a Diferentes Temperaturas

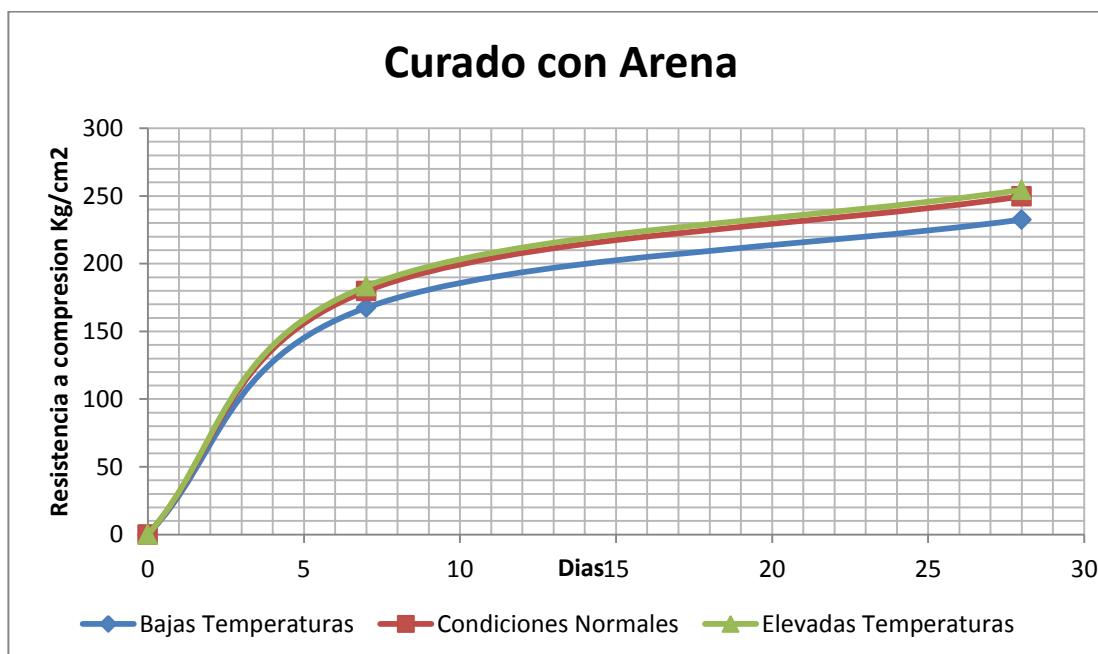


Curva 5.8.4. Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días de Probetas Curadas con Agua a Diferentes Temperaturas

En esta grafica se observa claramente que el curado con agua, y antisol s es la mejor alternativa para lugares donde la temperatura promedio sea de 20⁰C.

Curado con arena			
Resistencia	Resistencia a Compresión Kg/cm2		
Días	Bajas Temperaturas	Condiciones Normales	Altas Temperaturas
0	0	0	0
7	167.55	179.88	183.36
28	232.59	249.71	254.53

Tabla 5.8.5. Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días de Probetas Curadas con Arena a Diferentes Temperaturas



Curvas 5.8.5. Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días de Probetas Curadas con Arena a Diferentes Temperaturas

Por otro lado en esta grafica se puede corroborar que el curado con arena es la mejor alternativa para curar pavimentos rígidos a temperaturas elevadas.

El curado con arena permitió llegar a una resistencia de 254.53Kg/cm² a los 28 días, en elevadas temperaturas, para bajas temperaturas la resistencia apenas llego a los 232.59Kg/cm² y en condiciones normales la resistencia proyectada fue de 249.71Kg/cm².

Curado con Antisol S			
Resistencia	Resistencia a Compresión Kg/cm2		
Días	Bajas Temperaturas	Condiciones Normales	Altas Temperaturas
0	0	0	0

7	176.09	191.26	195.06
28	244.44	265.51	270.78

Tabla 5.8.6. Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días de Probetas Curadas con Antisol S a Diferentes Temperaturas

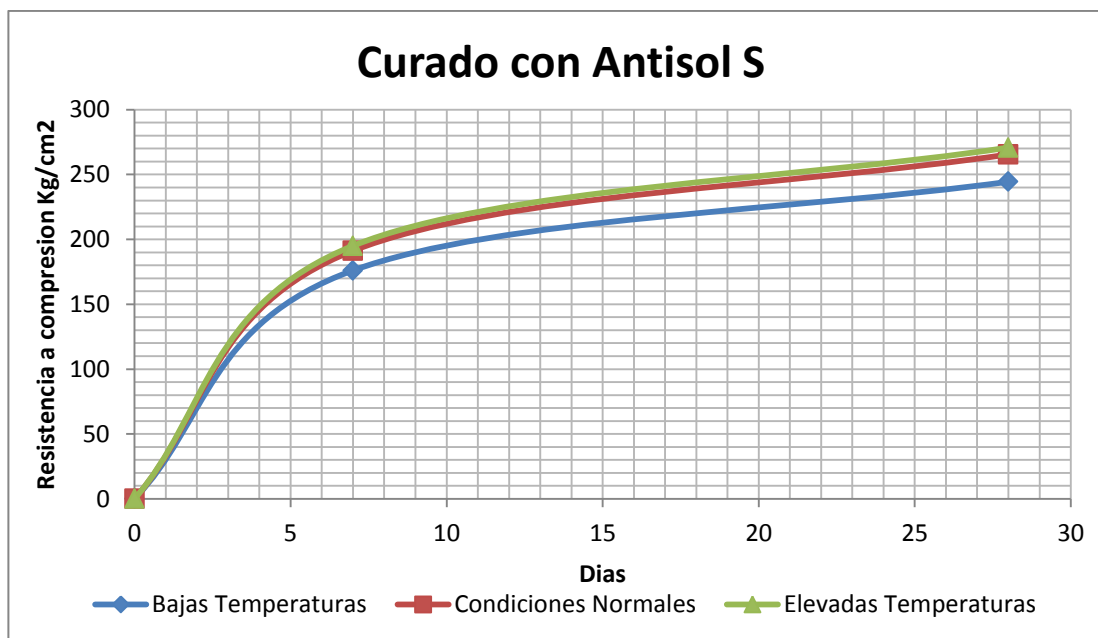


Tabla 5.8.6. Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días de Probetas Curadas con Antisol S a Diferentes Temperaturas

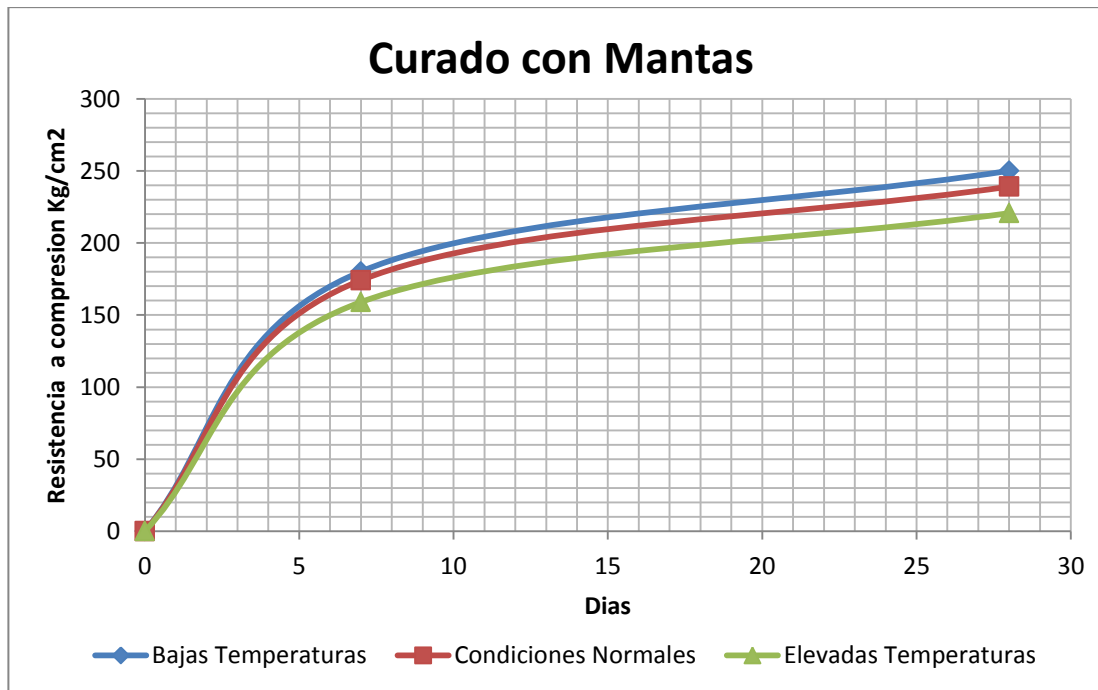
En esta grafica se puede demostrar que el Antisol S es la mejor alternativa para curar pavimentos rígidos en temperaturas muy elevadas que están por los 42^oC o más ya que la resistencia que se obtuvo con este tipo de curado fue de 270.78Kg/cm².

Mientras que en bajas temperaturas la resistencia llego a 244.44Kg/cm², existiendo una diferencia de 26.34Kg/cm² de resistencia de una temperatura a la otra.

Curado con Mantas

Resistencia	Resistencia a Compresión Kg/cm ²			
	Días	Bajas Temperaturas	Condiciones Normales	Altas Temperaturas
0	0	0	0	0
7	180.20	174.19	159.01	
28	250.15	239.17	220.74	

Tabla 5.8.7. Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días de Probetas Curadas con Mantas a Diferentes Temperaturas

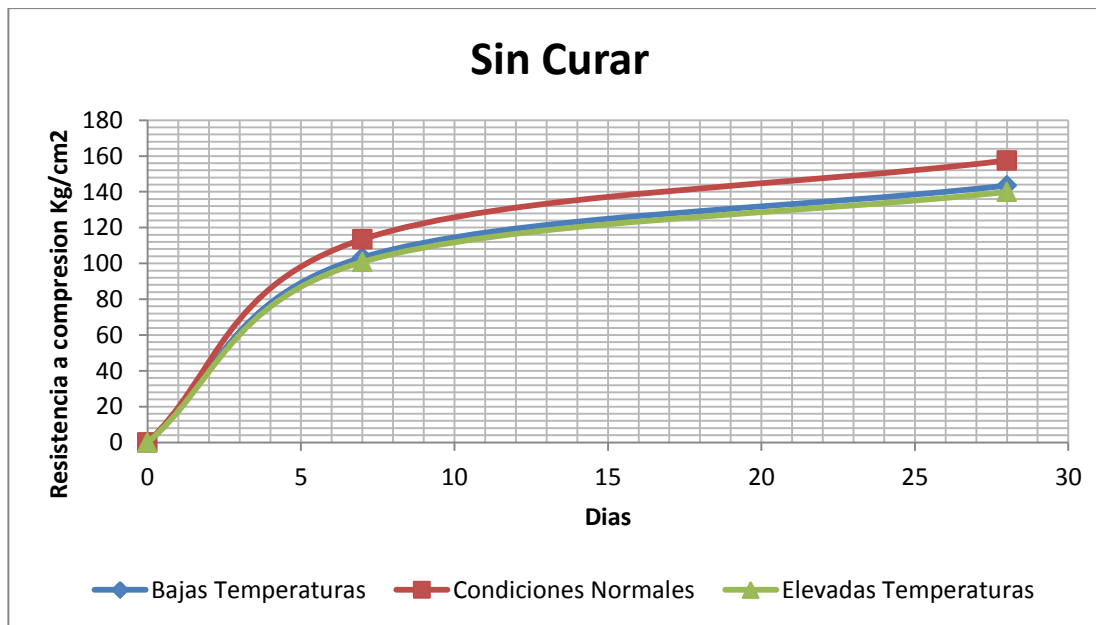


Curvas 5.8.7. Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días de Probetas Curadas con Mantas a Diferentes Temperaturas

Esta grafica nos demuestra que el curado con agua protegiendo las probetas con mantas del frio, es la mejor alternativa para bajas temperaturas, ya que es la única metodología que permitió cumplir con la resistencia requerida.

Sin Curar			
Resistencia	Resistencia a Compresión Kg/cm ²		
Días	Bajas Temperaturas	Condiciones Normales	Altas Temperaturas
0	0	0	0
7	103.36	113.48	100.83
28	143.48	157.53	139.97

Tabla 5.8.8. Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días de Probetas sin Curar a Diferentes Temperaturas



Curvas 5.8.8. Resistencia a Compresión a los 7 y 28 días de Probetas sin Curar a Diferentes Temperaturas

En este caso se puede observar claramente que en lugares donde las temperaturas están por los 20°C, es decir en condiciones normales; no curar el hormigón es menos perjudicial que en lugares donde se presentan climas extremos. Aclarando que sin curar el hormigón no llega a la resistencia característica, faltando aproximadamente 93Kg/cm² para llegar a esta. Se puede corroborar con esta grafica la gran influencia que tiene sobre la resistencia el curado del hormigón.

Seguidamente se presentara los valores de las resistencias obtenidas a diferentes temperaturas.

Curado con Antisol S	
Temperatura	Resistencia 28 días
° C	Kg/cm²
-2	232.59
5	236.54
15	260.24
20	265.51
27	265.51
36	269.46
42	277.36

Tabla 5.8.9. Temperatura vs. Resistencia
Curado con Antisol S

Curado con Arena	
Temperatura	Resistencia 28 días
° C	Kg/cm ²
-2	220.74
5	232.59
15	244.44
20	249.71
27	251.02
36	254.97
42	257.61

Tabla 5.8.10. Temperatura vs. Resistencia
Curado con Arena

Tabla 5.8.12. Temperatura vs. Resistencia
Curado con Mantas

Sin Curar	
Temperatura	Resistencia 28 días

Curado con mantas	
Temperatura	Resistencia 28 días
° C	Kg/cm ²
-2	253.66
5	247.07
15	249.71
20	241.81
27	231.27
36	218.10
42	212.83

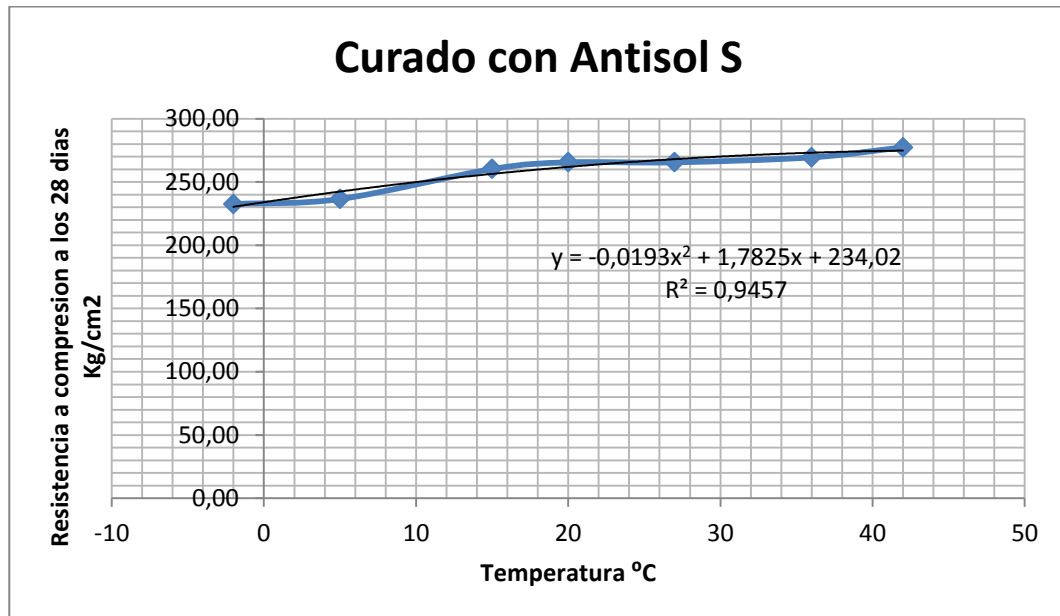
Sin Curar	
Temperatura	Resistencia 28 días
° C	Kg/cm ²
-2	136.46
5	141.72
15	152.26
20	157.53
27	146.99
36	144.36
42	128.55

Tabla 5.8.13. Temperatura vs. Resistencia
Sin Curar

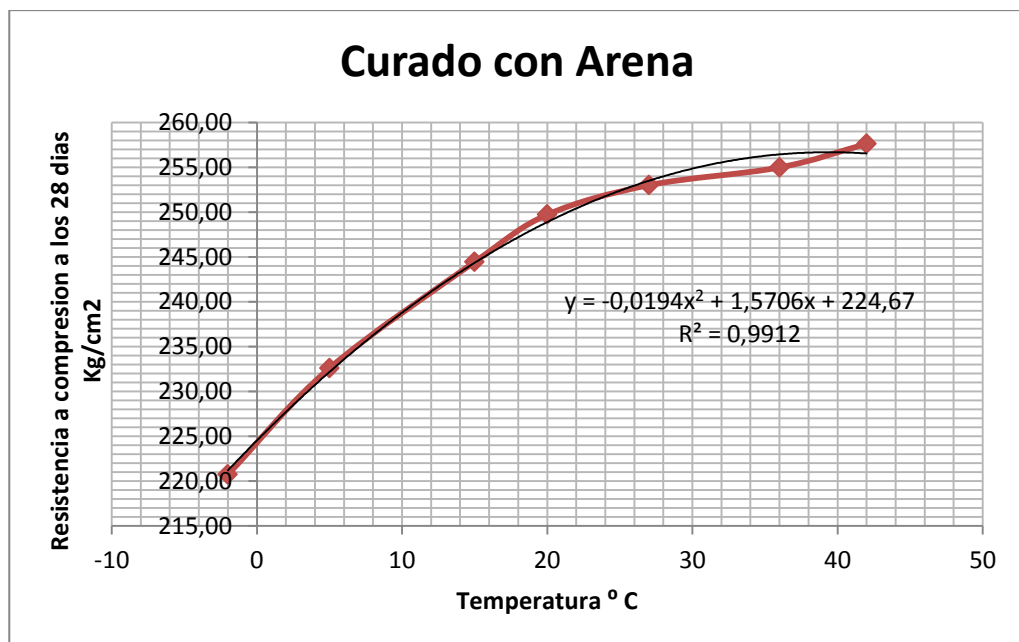
Curado con Agua	
Temperatura	Resistencia 28 días
° C	Kg/cm²
-2	247.07
5	248.39
15	252.34
20	260.24
27	261.56
36	261.80
42	262.88

Tabla 5.8.11. Temperatura vs. Resistencia -Curado con Agua

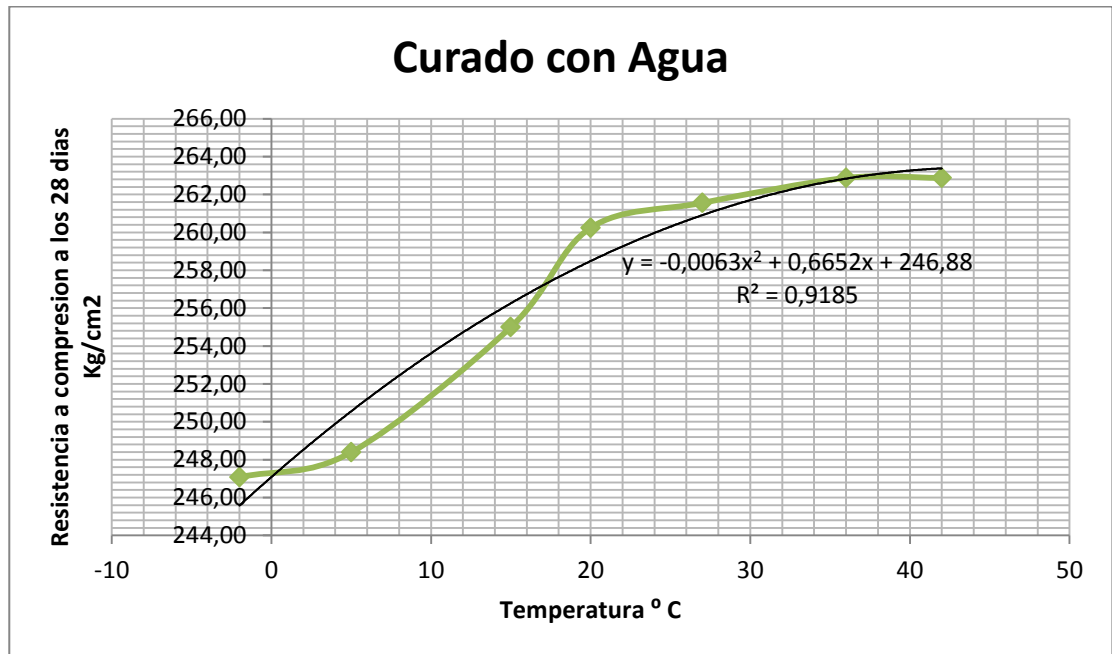
Seguidamente se presentaran las gráficas en las que se representa la resistencia a compresión a los 28 días vs. Temperaturas, determinando en las mismas una ecuación que nos permitirá obtener resistencias para temperaturas que se encuentren dentro de dicho rango.



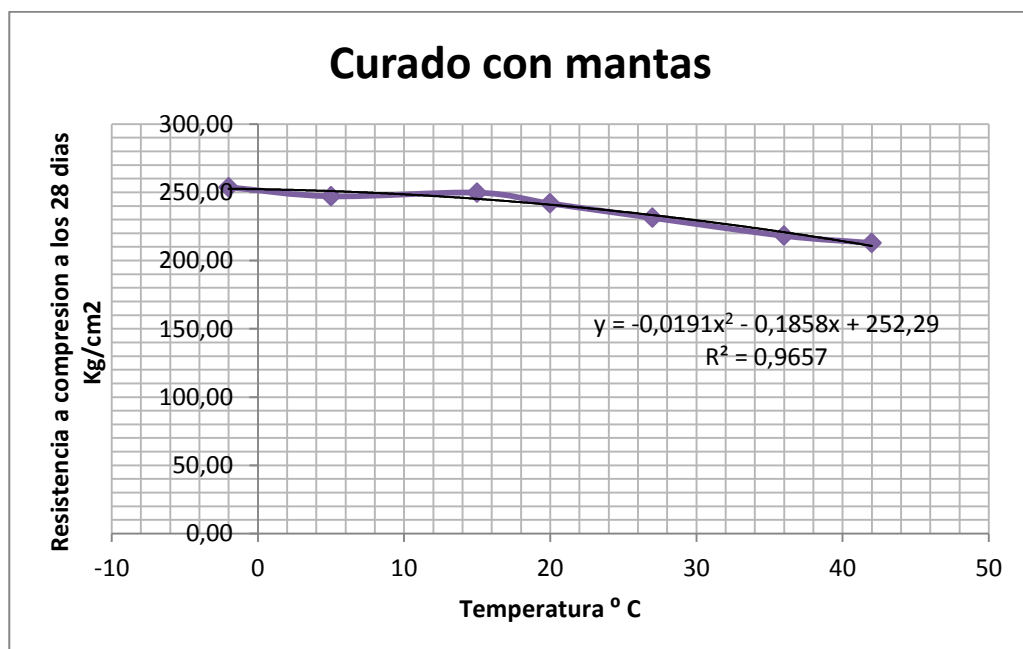
Curva 5.8.9. Temperatura vs. Resistencia Curado con Antisol (Determinación de Ecuación)



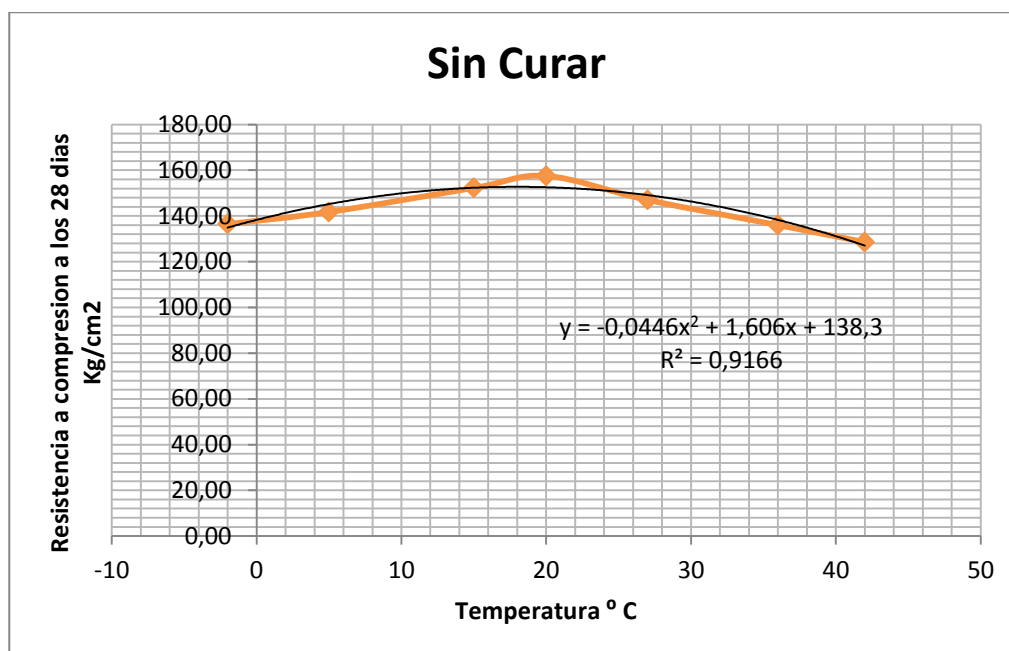
Curva 5.8.10. Temperatura vs. Resistencia Curado con Arena (Determinación de Ecuación)



Curva 5.8.11. Temperatura vs. Resistencia Curado con Agua (Determinación de Ecuación)

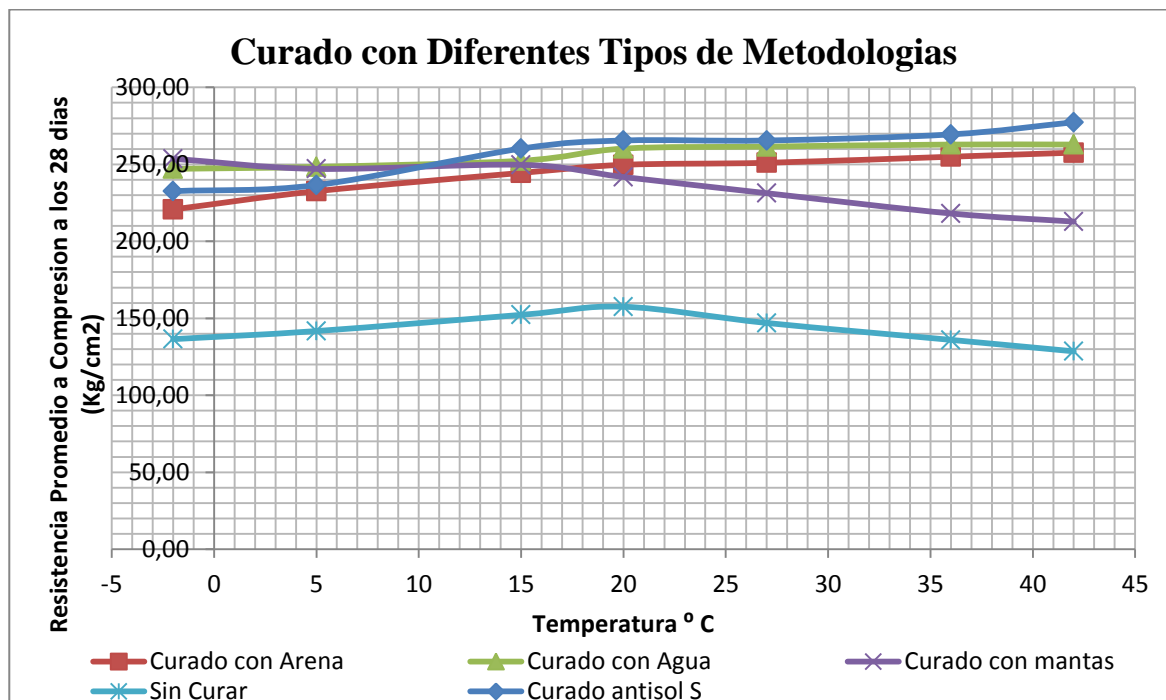


Curva 5.8.12. Temperatura vs. Resistencia Curado con Mantas (Determinación de Ecuación)



Curva 5.8.13. Temperatura vs. Resistencia Sin Curar (Determinación de Ecuación)

Finalmente toda la investigación se reduce a esta últimográfica:



Curva 5.8.14. Temperatura vs. Resistencia Comparando Todos los Tipos de Curados Utilizados en La Investigación

Resumiendo todo el análisis realizado a través de las gráficas anteriores, se puede decir que:

- La resistencia más baja obtenida curando las probetas fue del curado con mantas a temperaturas que llegan a los 42⁰C, la cual fue de 212.83Kg/cm² faltando 371.7Kg/cm² para llegar a la resistencia esperada.
- La resistencia más alta obtenida curando las probetas, fue del curado con Antisol S sometido a temperaturas que alcanzaran los 42⁰C, y esta fue de 277Kg/cm².
- Analizando la curva del curado con arena se puede apreciar que este tipo de curado es adecuado para lugares donde la temperatura sea elevada, ya que es aquí donde la resistencia alcanza los 257 Kg/cm², mientras que para condiciones normales está en el límite,

alcanzando una resistencia de 249.71Kg/cm^2 y a los 20°C llego a 220.74Kg/cm^2 .

- Observando la curva del curado con mantas se aprecia que es la mejor alternativa de todas cuando se presentan bajas temperaturas, ya que es con este tipo de curado con el único que se llegó a 253.66Kg/cm^2 , cumpliendo con la resistencia requerida.
- Para condiciones normales de 20°C se determinó que el tipo de curado más adecuado es el curado con agua ya que es la resistencia obtenida más alta de todas junto al curado con antisol s en estas condiciones ambientales. Dichas resistencias fueron de 260.24Kg/cm^2 y 262.88Kg/cm^2

CAPITULO VI

6.1. CONCLUSIONES

Finalizada la presente investigación se llega a concluir lo siguiente:

- Queda determinado que la mejor alternativa de curado para pavimentos rígidos que son construidos en lugares donde las temperaturas son extremadamente elevadas, que llegan a los 42°C o más, es el curado con Antisol S, producto líquido de color blanco que refleja los rayos solares y así disminuye la temperatura del concreto y evita la evaporación del agua, evitando así posibles fisuras prematuras de las losas del pavimento rígido.
- Se puede afirmar que en lugares de climas extremadamente bajos, es de suma importancia proteger con mantas de tela especial, al pavimento durante el proceso de curado, para asegurar que el hormigón llegue a su resistencia especificada y evitar fallas en las losas del pavimento.
- Se determina que proteger el pavimento rígido durante su proceso de ejecución de climas agresivos, es de suma importancia para permitir la ganancia de su resistencia, aumentar la durabilidad del pavimento y disminuir la tendencia a la fisuración.
- Se concluye que la hidratación progresa muy lentamente cuando la temperatura del hormigón es muy baja. Temperaturas

por debajo de los 10°C son desfavorables para el desarrollo de resistencias a temprana edad, de aquí se deduce que el hormigón debe ser protegido para mantenerlo a una temperatura adecuada para la hidratación del cemento y para evitar pérdidas de humedad durante el periodo inicial de endurecimiento.

- Se establece que el método de inmersión o inundación no es aconsejable para curar el pavimento rígido que este expuesto a temperaturas de congelación.
- El rociado o pulverización de agua es un excelente método de curado, cuando se cuenta con temperaturas de condiciones normales.
- Se determinaron ecuaciones para cada tipo de curado, de las cuales se obtiene el resultado de la resistencia a compresión para temperaturas que estén comprendidas entre -2°C a 42°C .
- El curado con agua es la opción más económica en lo que respecta a la metodología de curado, pero a la vez requiere mayor control por parte del personal de trabajo, para evitar que exista la evaporación superficial de las losas del pavimento.
- La utilización de arena para el curado puede parecer una alternativa más económica, pero para llevar a cabo este tipo de curado se precisa mayor mano de obra de la que requiere el curado con Antisol s, ya que el personal de trabajo debe estar

cuidando permanentemente durante los 7 días que la arena no pierda humedad.

- Finalmente se puede concluir que utilizar productos como el Antisol S para elevadas temperaturas o mantas especiales para proteger al pavimento en bajas temperaturas es de vital importancia para la ganancia de resistencia del hormigón a tempranas edades y así poder evitar fisuración prematura y darle una mayor durabilidad al pavimento.

6.2. RECOMENDACIONES

- En zonas descubiertas donde la temperatura es alta y el viento tienen un efecto de desecar muy rápidamente el agua superficial de la losa, es necesario proteger las losas para minorar este efecto, se ha comprobado que esta faena colabora en la no disecación violenta del agua superficial, aminorando la presencia de fisuras por secado.
- En zonas altas de Tarija, tales como Iscayachi donde la temperatura puede descender demasiado durante la noche, es necesario la colocación de una manta de curado, la manta (similar a una frazada) se la puede acopiar sobre un sector ya vaciado para luego ser colocada sobre hormigón una vez que esta haya empezado a fraguar y tenga suficiente resistencia de tal modo que no se deforme por el peso.
- Impedir que el concreto alcance temperaturas elevadas durante su fabricación, para ello, puede ser necesario

mantener los acopios de agregados con la protección adecuada que impida una excesiva exposición al sol o incluso el empleo de hielo en el agua de mezclado.

- Procurar reducir al mínimo la permanencia del concreto fresco en el camión mezclador y mantener éste, siempre que sea posible, fuera de la acción directa del sol.
- Tener en cuenta los efectos de la evaporación, para la corrección de las dosificaciones.
- Elevar artificialmente las temperaturas del agua de amasado y de los áridos para permitir la normal hidratación del cemento y evitar los problemas de la helada. Mantener las condiciones de temperatura y humedad durante el proceso de curado.