



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ARAGÓN**

***“EL USO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO
COMO SOLUCIÓN SUSTENTABLE EN LA RED
CARRETERA DE MÉXICO”***

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A:

EDUARDO UGALDE RUIZ

ASESOR

M. en I. KARLA IVONNE GUTIÉRREZ VÁZQUEZ



MÉXICO, 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

***EL USO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO COMO SOLUCIÓN
SUSTENTABLE EN LA RED CARRETERA DE MÉXICO***

“Hasta hace algunos años en México sólo se construían pavimentos con carpeta asfáltica que significaban una vida útil corta y representaban altos costos de mantenimiento

Es en 1993, cuando se introducen en México los pavimentos de concreto hidráulico, en un afán de brindar una mayor durabilidad a la red carretera nacional”

ÍNDICE	Pag
INTRODUCCIÓN.....	5
I.1 Antecedentes y evolución de los pavimentos de concreto	
I.2 Marco Referencial	
CAPÍTULO 1. PROCESO CONSTRUCTIVO.....	14
1.1 Preliminares	
1.2 Cimbra deslizante	
1.3 Cimbra fija	
1.4 Pavimentos de concreto estampado	
CAPÍTULO 2. CONSTRUCCIÓN DE JUNTAS.....	57
2.1 Especificaciones de materiales	
2.2 Herramientas	
2.3 Equipos	
CAPÍTULO 3. PAVIMENTOS SUSTENTABLES.....	92
3.1 Pavimentos sustentables	
3.2 Beneficios sociales de los pavimentos de concreto	
CONCLUSIONES.....	110
BIBLIOGRAFIA.....	117

INTRODUCCIÓN

I.1 ANTECEDENTES Y EVOLUCIÓN DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO

“Las crecientes necesidades de desarrollo, la búsqueda de soluciones perdurables y la demanda de contar con más y mejores caminos han contribuido para lograr que en la modernización y ampliación de la red carretera de México se esté especificando el uso de pavimentos de concreto hidráulico bajo estándares internacionales de calidad.”

a) ANTECEDENTES

La extensión territorial de México cuenta con una gran diversidad de climas, tipos de suelos, zonas ambientales y etnias, su heterogeneidad nos ha ido marcando el camino del desarrollo y crecimiento, de alguna manera esta diversidad ha influido en la conformación de nuestra infraestructura carretera.

En México tenemos aproximadamente 95,000 km de caminos pavimentados cuyas condiciones de servicio no son las óptimas, de hecho la mayoría de ellos están catalogados por las propias autoridades como pavimentos en regulares y malas condiciones. Una razón importante del bajo nivel de servicio es debido a que estas carreteras se proyectaron, diseñaron y construyeron en su mayoría entre los años 1925 a 1970. La red estuvo proyectada para soportar cargas vehiculares que varían entre las 6 y las 8 toneladas y en la actualidad llega a tener camiones cargados los cuales en algunos casos alcanzan a pesar hasta 60 toneladas.

Además de no considerar el aumento en los pesos de los vehículos, no se consideró tampoco el crecimiento del tránsito de camiones pesados en la red, ya que se consideró en el diseño el tráfico diario que anteriormente se tenía y que variaba entre los 500 y los 1,000 vehículos, sin embargo en la actualidad se tienen valores significativamente mayores de hasta 15,000 vehículos.

Antes del año de 1993 la especificación y construcción de pavimentos de concreto hidráulico en México fue relativamente escasa. Se considera que esto se debió principalmente a que nuestro país es un importante productor de petróleo y por consiguiente de asfalto y como anteriormente existía un subsidio importante en el precio del asfalto, los pavimentos asfálticos en nuestro país resultaban en costos inferiores a los del concreto hidráulico. Adicionalmente existía una gran desinformación y desconocimiento sobre el diseño y construcción con nuevas tecnologías de los pavimentos de concreto hidráulico. Otro factor importante es que cuando se diseñaron los caminos de México para el tránsito que se pensaba tenían que soportar, los pavimentos de asfalto parecían ser una alternativa suficiente.

Ante la preocupación acerca del deterioro de las carreteras en la red y considerando los puntos anteriormente planteados la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) se dio a la tarea de buscar soluciones alternativas a tal situación que pudieran soportar adecuadamente las cargas y el volumen de tráfico pesado buscando que los niveles de servicio permanecieran en buen nivel durante periodos mayores. Tales exigencias orientaron a la SCT a la solución con pavimentos de concreto hidráulico, que representaban un costo razonable, con una capacidad estructural adecuada tanto para el volumen de tránsito como para la intensidad del mismo y un periodo de vida costeable de acuerdo a la magnitud de la inversión.

b) TECNOLOGÍA

Para satisfacer la demanda de diseñar, especificar y construir los pavimentos de concreto hidráulico con las mejores tecnologías a nivel mundial y con altos estándares en sus especificaciones, tuvo que llevarse a cabo un programa de capacitación intensivo y avanzado para los técnicos e ingenieros especificadores, esto se logró con el apoyo de la iniciativa privada mexicana interesada en el desarrollo de la infraestructura del país en base en este tipo de pavimentos. Este tipo de capacitaciones se ha seguido desarrollando tanto en México como en el extranjero.

Se realizó una revisión exhaustiva sobre los tipos de maquinaria que estaban disponibles en el mercado internacional para realizar estas tareas, tanto plantas de mezclado central para la elaboración del concreto con la calidad y en las cantidades necesarias para lograr altos rendimientos en la pavimentación, así como pavimentadoras de cimbra deslizante con las características necesarias para lograr altos niveles de servicio, seguridad y confort. Se analizaron también las ventajas y desventajas de unas marcas de equipos con respecto a otras, la experiencia de las empresas dedicadas a la fabricación de estos equipos, la facilidad con la que dichas empresas podrían ofrecer los servicios de capacitación, refacciones y mantenimiento para dichos equipos, e incluso la posibilidad de desarrollar representantes locales de dichas empresas para dar servicio en México. De igual forma se trabajó en lo referente a equipos para dar el texturizado final al pavimento de concreto, las máquinas cortadoras para conformar los tableros de losas, los diferentes tipos de discos para estos cortes, y algunos otros equipos de medición de las características físicas de los pavimentos

Terminados los análisis anteriores se importaron los equipos seleccionados a nuestro país y de dio inicio propiamente al desarrollo de este tipo de soluciones.

c) EVOLUCION

Ante la globalización se hicieron más imperantes las necesidades de contar con una infraestructura que permita el desarrollo de la actividad económica y social del país.

En el año de 1993 la SCT con el apoyo de Cementos Mexicanos construyó la primera carreta de concreto hidráulico con el uso de especificaciones internacionales y las nuevas tecnologías de pavimentación, siguiendo estrictas normas de calidad tanto en la producción como en el tendido del concreto y contemplando una serie de alternativas en las especificaciones que permitirían establecer posteriormente situaciones comparativas que permitirían establecer adecuadamente las características ideales en las especificaciones de los pavimentos de concreto hidráulico.

Así en 1993 el libramiento Ticumán ya era una realidad en concreto hidráulico con una longitud de 8.5 km.

A partir de este proyecto y con los resultados programados que se fueron obteniendo del mismo, se continuó con la especificación y construcción de algunas otras carreteras de concreto hidráulico en el país, de tal forma que al final de 1994 ya se habían iniciado los trabajos en los tramos de las Autopistas Guadalajara - Tepic, Tuxpan – Tihuatlán y Tihuatlán – Poza Rica, así como el primer tramo de la Cárdenas- Agua Dulce.

A pesar de la crisis económica que sufrió el país para el año de 1995 ya se estaban realizando los trabajos de algunas carreteras como: Yautepec – Jojutla, Atlapexco – Tianguistengo, Jiutepec – Zapata y un tramo de la autopista Querétaro – San Luis Potosí.

Durante el año de 1996 se construyeron también de concreto los tramos: Entronque Aeropuerto de San Luis Potosí – Entronque Libramiento de San Luis Potosí, Libramiento de San Luis Potosí – El huizache y el tramo Aeropuerto de Ixtapa – Zihuatanejo.

Para los años de 1997 y 1998 se especificaron y construyeron los siguientes tramos: Autopista Pirámides – Tulancingo, un segundo tramo de Ixtapa – Aeropuerto, el Libramiento Ruta Dos en Nuevo Laredo, la Autopista Cancún – Tulum, la Autopista Huizache – Matehuala, tres tramos de la Autopista Querétaro – Palmillas, el Libramiento Umán en el estado de Yucatán, el Libramiento Rincón de Romos en el estado de Aguascalientes, Boulevard Aeropuerto La Paz y el tramo de Chihuahua – Aldama.

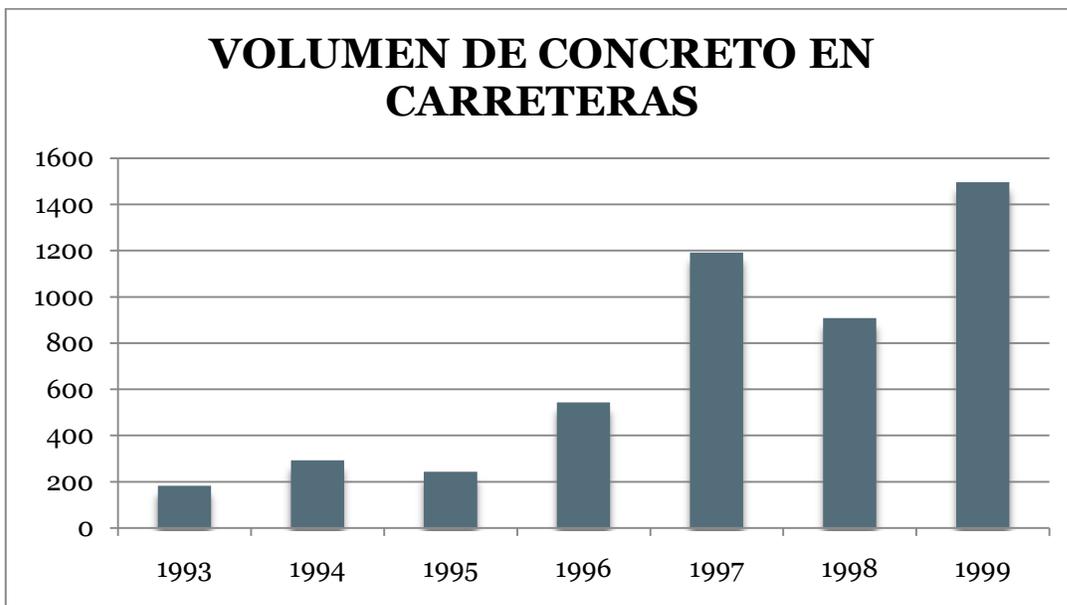
En este periodo se realizó una ampliación en la aeropista del aeropuerto de Mérida con la tecnología del concreto hidráulico.

Para 1999 se estuvieron realizando o por iniciar los trabajos de construcción de los tramos de: la Autopista Rosario – Escuinapa en el estado de Sinaloa, Aeropuerto Vallarta – Río Ameca en Jalisco, Río Ameca – Cruz de Huanacastle en Nayarit, el

segundo tramo de la Cárdenas – Agua Dulce en Tabasco, la carretera Yautepec – Oacalco, el tramo de Poxila – Límite de Estados en Yucatán, Libramiento de Colima, Chajul – Flor de Café en el estado de Chiapas, Entronque Feliciano – Lázaro Cárdenas Michoacán, Acceso al Puerto Fronterizo Laredo puente Internacional III, Matehuala – San Roberto y San Roberto – Puerto México en el estado de Nuevo León, el acceso al puerto de Altamira (API), las laterales del Paseo Tollocán en Toluca Estado de Méxcio, los tramos de Huayacocotla y la Chinantla en Veracruz, el Libramiento Nororiente de Querétaro, así como la aeropista del aeropuerto de Kaua en el estado de Yucatán.

Como se ha descrito en la información presentada anteriormente el crecimiento y evolución de los pavimentos de concreto hidráulico ha aumentado de una manera que resulta muy favorable para el país, por las ventajas que los mismos representan, esto ha propiciado que la demanda de caminos de excelente calidad haya ido en aumento.

En la siguiente gráfica se muestra el comportamiento del consumo de concreto hidráulico para la construcción de carreteras.



d) VENTAJAS

Entre las principales ventajas de un pavimento de concreto hidráulico podemos enunciar las siguientes:

- *Durabilidad*
- *Bajo Costo de Mantenimiento*
- *Seguridad*

- *Altos Índices de Servicio*
- *Mejor Distribución de esfuerzos bajo las Losas*

1. Durabilidad

Una de las ventajas más significativas de los pavimentos de concreto hidráulico es la durabilidad del concreto, para lograr esta durabilidad es importante considerar además de la resistencia adecuada del concreto ante las sollicitaciones mecánicas todos los agentes externos de exposición a los que estará sujeto el pavimento para elaborar la mezcla apropiada y definir las recomendaciones para la colocación del concreto hidráulico. Se deben de realizar los proporcionamientos de mezcla adecuados, con ciertas relaciones de agua / cemento utilizando aditivos que permitan una reducción de agua en la mezcla y que den la trabajabilidad adecuada al concreto aun con revenimientos bajos como los utilizados en autopistas.

Otro aspecto importante para lograr esta durabilidad tiene que ver con los materiales que forman la estructura de soporte, es importante conocer con detalle las características de los mismos y sus grados de compactación apoyados con los estudios de mecánica de suelos de la ruta.

Es importante que el diseñador cuente con la suficiente información para poder estimar de forma precisa el volumen de tráfico y las cargas vehiculares que estarán transitando por el pavimento con el objeto de realizar un diseño estructural adecuado para cubrir adecuadamente la durabilidad del proyecto por efectos de fatiga.

2. Bajo Costo de Mantenimiento

Los pavimentos de concreto hidráulico se han caracterizado por requerir de un mínimo mantenimiento a lo largo de su vida útil. Esto es sin duda una de las ventajas mayores que ofrecen estas alternativas de pavimentación. La significativa reducción de los costos de mantenimiento de una vía permite que el concreto sea una opción muy económica. Esto normalmente se puede visualizar al realizar un análisis del costo ciclo de vida que puede ser comparado con algunas otras alternativas de pavimentación. El análisis del costo ciclo de vida es una herramienta que nos ayuda para soportar la toma de decisiones.

El mantenimiento que requieren los pavimentos rígidos es mínimo, sin embargo es muy importante que el mismo se provea en tiempo y forma adecuados para garantizar las propiedades del pavimento.

3. Seguridad

El concreto hidráulico colocado bajo las especificaciones y con los equipos mencionados anteriormente permite lograr una superficie de rodamiento con alto grado de planicidad y dada su rigidez esta superficie permanece plana durante toda su vida útil, evitando la formación de roderas las cuales disminuyen el área de contacto entre llanta y pavimento produciendo el efecto de acuaplaneo en los

días de lluvia. Otro fenómeno que se evita con la utilización del concreto hidráulico es la formación de severas deformaciones en las zonas de arranque y de frenado que hacen a los pavimentos ser más inseguros y maltratan fuertemente los vehículos.

Por el color claro del pavimento de concreto hidráulico se tiene una mejor visibilidad en caso de transitar de noche o en la oscuridad de días nublados.

4. Altos Índices de Servicio

Los pavimentos de concreto hidráulico permiten ser construidos con altos índices de servicio, como se menciona en el punto anterior se puede lograr un alto grado de planicidad o un índice de perfil muy bueno, adicionalmente siguiendo las recomendaciones de construcción adecuadas se puede proveer al pavimento de una superficie altamente antiderrapante.

La utilización de pasajuntas permite mantener estos índices de servicio, evitando la presencia de escalonamientos en las losas sobretodo en tramos donde el tráfico es significativamente pesado.

5. Mejor Distribución de Esfuerzos bajo las losas

Dada la rigidez de la losa los esfuerzos que se transmiten a las capas inferiores del pavimento se distribuyen de una manera prácticamente uniforme, cosa contraria a lo que sucede con los pavimentos flexibles en donde las cargas vehiculares concentran un gran porcentaje de su esfuerzo exactamente debajo del punto de aplicación de la carga y que se van disminuyendo conforme se alejan de la misma. La distribución uniforme de las cargas permite que los esfuerzos máximos que se transmiten al cuerpo de soporte sean significativamente menores en magnitud, lo que permite una mejor condición y menor deterioro de los suelos de soporte.

e) *TRABAJO CONTINUO*

Poco a poco se ha ido logrando tener una mayor experiencia en el diseño, especificación y construcción de pavimentos de concreto hidráulico en México, estas experiencias han ido mostrando las ventajas de este tipo de soluciones, de tal modo que cada vez son más las entidades gubernamentales responsables de la construcción, mantenimiento y operación de las vías que están interesadas en proveer a sus caminos de las características de un pavimento de concreto hidráulico, lo que les significa ahorros sustanciales en mantenimiento, mejores niveles de servicio del camino, mayor vida útil y consecuentemente economía de los recursos.

Podemos afirmar que la alternativa de pavimentación con concreto hidráulico es una realidad en nuestro país y el siguiente paso, en el que estamos trabajando a

pesar de que son mínimas las necesidades, es el de dar de conocer a los especificadores y constructores los métodos de rehabilitación, reparación y mantenimiento que se deben de seguir en los pavimentos rígidos para aprovechar de mejor forma todas sus ventajas.

I.2 MARCO DE REFERENCIA

“El desarrollo de los pavimentos de Concreto Hidráulico se ha incrementado notablemente en Latinoamérica en la década de los 90’s, gracias a las ventajas que ofrecen para el desarrollo económico de los países del tercer mundo.”

a) EXPERIENCIA INTERNACIONAL

En muchos países del mundo se han utilizado por muchos años los pavimentos de concreto hidráulico tanto para proyectos carreteros como para vías de comunicación urbanas, tal es el caso de Estados Unidos, Canadá, Alemania, España, Francia, Italia, Bulgaria, etc. De diferentes formas estos países han contribuido para que los métodos de diseño se hayan ido perfeccionando en base a los estudios realizados en el tiempo, así mismo se ha evolucionado en las técnicas de construcción y de evaluación de los pavimentos de concreto hidráulico.

Todas las experiencias recopiladas durante más de 50 años han servido de base para la tecnología actual de pavimentos y obviamente se sigue experimentando e investigando para mejorar y perfeccionar las técnicas actuales.

b) CASO DE LATINOAMÉRICA

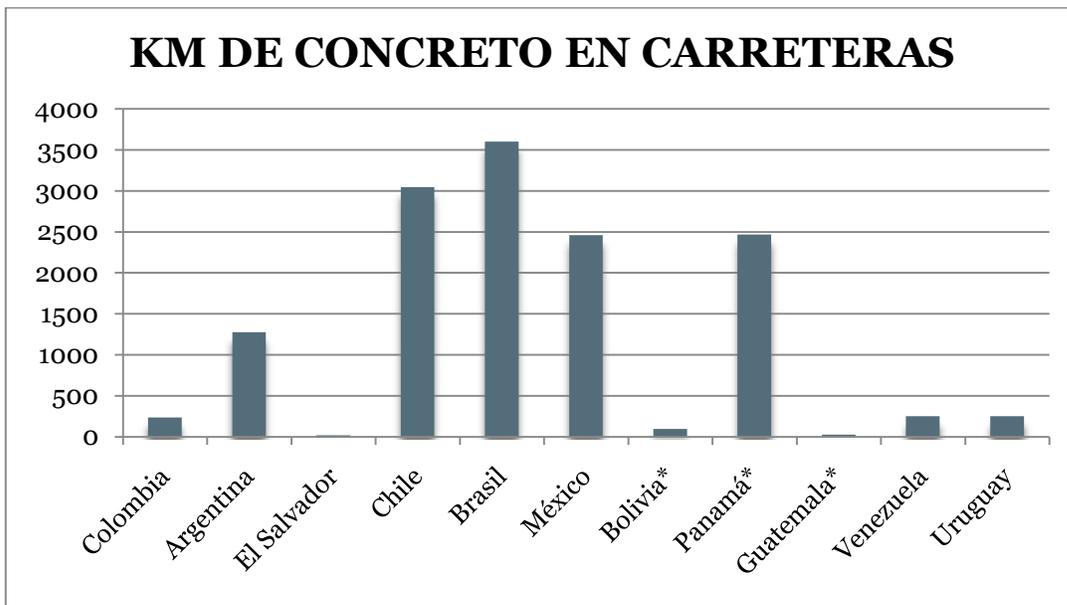
En los países de América Latina se han utilizado los pavimentos de concreto principalmente para vialidades urbanas, sin embargo las tecnologías de diseño y construcción utilizadas normalmente no habían sido las más actualizadas. El país de Latinoamérica que más pronto inició su incursión en las nuevas tecnologías de pavimentación fue Panamá esto en consecuencia de la fuerte influencia tecnológica que tuvieron de los Estados Unidos por su presencia en el Canal. Posteriormente algunos otros países empezaron a utilizar estas tecnologías tanto en especificaciones como en procedimientos constructivos, sin embargo el desarrollo más importante se ha dado durante la última década, la de los noventas.

Países como: Brasil, Chile, México, Argentina, han empezado a utilizar ampliamente las nuevas tecnologías en el desarrollo de sus Carreteras, Autopistas y Vialidades Urbanas.

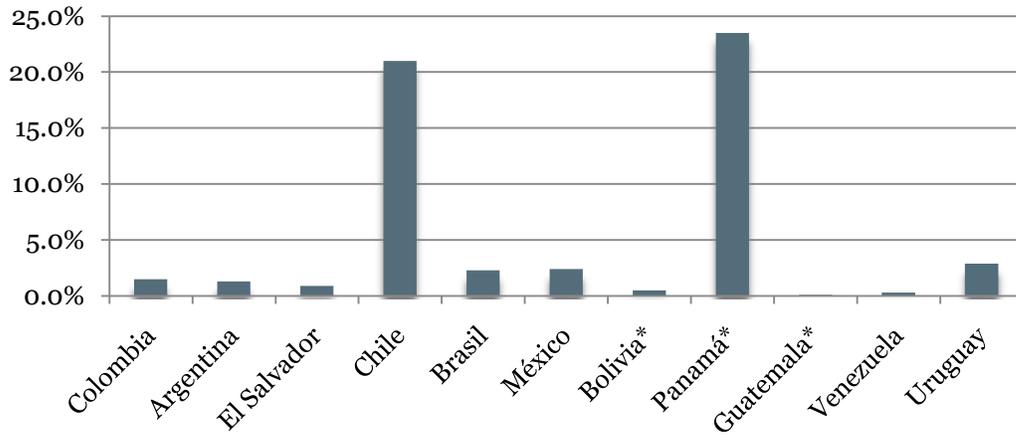
En menor escala pero con una fuerte tendencia de crecimiento lo están haciendo países como Venezuela, Colombia, Uruguay, Guatemala, El Salvador y Bolivia, sin embargo ésta tendencia parece estar ampliándose a todos los países de América Latina.

En las gráficas siguientes podemos observar de manera aproximada el porcentaje de la red carretera pavimentada de estos países que ya cuenta con concreto hidráulico como superficie de rodamiento, así como el número de kilómetros construidos por país con estas nuevas tecnologías en Carreteras y Autopistas.

Como puede observarse, el crecimiento es importante y el potencial de desarrollo es aún mayor.



PORCENTAJE DE LA RED EN CONCRETO HIDRÁULICO



CAPÍTULO 1

PROCESO CONSTRUCTIVO

Las nuevas tecnologías de construcción de pavimentos rígidos, se han desarrollado para cubrir diferentes necesidades de pavimentación y mejorar sustancialmente el comportamiento y confort de los caminos. Estas tecnologías las podemos clasificar de la siguiente manera:

- *Pavimentación con Cimbra Deslizante*
- *Pavimentación con Cimbra Fija*

Ambos esquemas de pavimentación se pueden utilizar indistintamente, sin embargo, es más común que las Autopistas, Carreteras y Avenidas Urbanas importantes utilicen primordialmente la cimbra deslizante y que en pavimentos urbanos en calles se utilice con mayor frecuencia la pavimentación con cimbra fija.

1.1 PRELIMINARES

“En la construcción de pavimentos de concreto se requieren de algunas actividades previas que son necesarias para el desarrollo del proyecto. Estas actividades pueden corresponder tanto para un pavimento nuevo como para una sobrecarpeta de concreto. A continuación se describen de manera breve algunas de las actividades previas a la colocación del pavimento de concreto.”

a) TERRACERÍAS

Para el caso de pavimentos nuevos es normal que se requiera de la formación de cuerpos de terracerías como la construcción de un terraplén y capa subrasante. Estos elementos deberán apearse a las Normas de Construcción vigentes de la Entidad Especificadora.

b) BASE ESTABILIZADA CON CEMENTO

Sobre la capa subrasante debidamente terminada, y según indiquen los planos del proyecto se podrá construir una capa de base estabilizada del espesor indicado en planos, compactada al 100% de su PVSM. La construcción de la base estabilizada se ejecutará con las características y materiales indicados en las Especificaciones para Bases del Especificador. La proporción de cemento portland a utilizar deberá determinarse mediante pruebas de laboratorio esto con el fin de obtener una

resistencia a la compresión axial simple de 21 kg/cm² como mínimo a los 7 días. El porcentaje de cemento portland será como mínimo 4% en peso del PVSM del material pétreo.

c) BASE DE RELLENO FLUIDO

De acuerdo con lo especificado en planos en los sitios donde corresponda se colocará una base de relleno fluido de resistencia, tiempo de apertura, revenimiento y espesor especificada en planos. La colocación de la base se hace directamente del camión revolvedor sobre la subrasante ayudando a su colocación con herramientas manuales, no deberá ser vibrado para evitar que salga el aire incluido que tiene la mezcla, no requiere ser compactado con medios mecánicos ya que es autocompactable al 100%, así mismo no requiere de curado. Dependiendo del revenimiento especificado se requerirán cimbras para darle forma especificada.

En Rellenos Fluidos convencionales la apertura al tráfico se deberá dar hasta después de 24 horas de haberlo colocado.

d) RIEGO DE IMPREGNACIÓN

Sobre la base estabilizada debidamente terminada, superficialmente seca y barrida, se aplicará en todo el ancho de la corona y en los taludes del material que forme dicha capa, un riego de impregnación con emulsión asfáltica catiónica de rompimiento lento o súper estable a razón de 1.0 lts/m² aproximadamente. El producto asfáltico deberá cumplir con las Normas de Calidad establecidas por la Entidad Especificadora.

e) BACHEO DE CAJA

Para la ejecución del trabajo se requieren taladros neumáticos, picos, escarificador de motoconformadora u otro equipo apropiado para remover las capas de la

estructura existente, cargador, vehículos de transporte de materiales, elementos adecuados para la compactación del fondo de la excavación y herramientas menores.

La excavación deberá tener bordes verticales bien definidos, sus caras longitudinales y transversales deberán ser paralelas y perpendiculares al eje de la vía, respectivamente; su fondo deberá ser plano, uniforme y firme. El fondo de la excavación deberá ser compactado en un espesor no menor de 15 cm. de acuerdo con los niveles de compactación que se indican a continuación. Si la superficie expuesta corresponde a una subrasante o una sub-base granular; ningún ensayo podrá dar lugar a un porcentaje de compactación inferior al noventa y cinco por ciento (95%) con respecto a la densidad máxima del ensayo proctor modificado. Cuando se trate de una capa de base granular, la exigencia se incrementará al cien por ciento (100%).

Deberán retirarse todos los materiales inadecuados, los cuales deberán ser cargados en camiones cubriéndolos con lonas u otros protectores adecuados, debidamente asegurados a la carrocería y transportados a los sitios de disposición indicados en los documentos del proyecto o definidos por el Especificador.

Los materiales deberán disponerse de manera que cumplan todas las reglamentaciones legales vigentes al respecto, en especial las referentes a la protección del medio ambiente.

Una vez terminada la compactación de la capa del fondo se deberá reponer el material desalojado con Relleno Fluido auto-compactable con una resistencia a la compresión no menor a los 30 kg/cm². El relleno fluido deberá colocarse con las recomendaciones descritas anteriormente en el tema de Bases de Relleno Fluido y se deberá rellenar con este material hasta el nivel original del pavimento existente. El relleno fluido se podrá colocar en una sola capa.

El bacheo se debe realizar en los sitios en donde existen huecos que comprometan la integridad de la base. El procedimiento es el siguiente:

- *Identificación de la falla.*
- *Demarcación de la caja, alrededor del bache.*
- *Demolición y retiro de la carpeta asfáltica, excavación y retiro del material de base, hasta encontrar material sano.*
- *Compactación de la base remanente.*
- *Colocación de Relleno Fluido hasta el nivel superior de la carpeta asfáltica.*

f) FRESADO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO

Este trabajo consiste en la obtención de un nuevo perfil longitudinal y transversal de un pavimento asfáltico existente, mediante su fresado en frío, de acuerdo con los alineamientos y dimensiones indicados en los documentos del proyecto y las instrucciones del Especificador, para lograr la colocación de un espesor de pavimento constante que es más fácil de cuantificar.

El equipo para la ejecución de los trabajos deberá ser una máquina fresadora cuyo estado, potencia y capacidad productiva garanticen el correcto cumplimiento del plan de trabajo. Si durante el transcurso de los trabajos el Supervisor observa deficiencias o mal funcionamiento de la máquina, ordenará su inmediata reparación o reemplazo.

Inmediatamente antes de las operaciones de fresado, la superficie de pavimento deberá encontrarse limpia y, por lo tanto, deberán adelantarse las operaciones de barrido y/o soplado que se requieran para lograr tal condición.

El fresado se efectuará sobre el área que determine el Especificador, a temperatura ambiente y sin adición de solventes u otros productos ablandadores que puedan afectar la granulometría de los agregados o las propiedades del asfalto existente. El espesor del mismo será el indicado en las especificaciones del proyecto.

El material extraído deberá ser transportado y acopiado en los lugares que indiquen los documentos del proyecto. Durante la manipulación del material fresado, deberá evitarse su contaminación con suelos u otros materiales extraños.

En caso de requerirse el fresado en proximidades de guarniciones y en otros sitios inaccesibles al equipo de fresado, el pavimento deberá removerse empleando otros métodos que den lugar a una superficie apropiada.

1.2 CIMBRA DESLIZANTE

En pavimentos de concreto se considera el uso de la cimbra deslizante como la herramienta necesaria para la formación de una figura geométrica consolidada mediante el deslizamiento continuo de una cimbra alrededor de la masa plástica del concreto, la pavimentadora de cimbra deslizante es la maquinaria autopropulsada en la cual va montada la cimbra. El efecto que la pavimentadora hace sobre el concreto se conoce formalmente como extrusión, el ejemplo más simple de extrusión es el realizado sobre la pasta de dientes al salir del tubo bajo presión, es claro que el material toma la forma de boquilla la cual haría las veces de la cimbra que se desliza.

La pavimentación en concreto con cimbra deslizante debe estar precedida de una planeación minuciosa de la actividad diaria, es muy importante tomar en consideración todos los aspectos que intervienen al momento de planear para lograr proyectos exitosos. Por lo general este tipo de pavimentaciones manejan grandes volúmenes de concreto y producciones diarias que pueden variar entre los 1,500 m³ a los 2,800 m³. Esta productividad apoyada con una buena planeación, han hecho posible optimizar los recursos y eficientar el proceso constructivo.

Antes de iniciar el proceso de elaboración de concreto, se deberán estudiar las características de los bancos de materiales disponibles en la zona para la elaboración del concreto. Además deberá de seleccionarse el sitio apropiado para la ubicación de la planta de mezclado central buscando minimizar las distancias de acarreo tanto de los agregados para el concreto como del propio concreto elaborado.

Dependiendo de la naturaleza y magnitud del proyecto, su ubicación y las condiciones del lugar, el concreto podrá ser elaborado en:

-Plantas de Mezclado Central

-Plantas Dosificadoras

a) PLANTAS DE MEZCLADO CENTRAL

Su uso en proyectos de gran magnitud es indispensable ya que pueden producir en un periodo muy corto, de alrededor de 1.5 minutos, una cantidad de concreto entre los 7 m³ y 9 m³ de manera automatizada.

Estas plantas son generalmente plantas móviles y son diseñadas para lograr un rápido montaje, desmontaje y son de fácil transporte, elaboradas con materiales de altas especificaciones para soportar la carga diaria de trabajo. Su operación es relativamente sencilla y práctica. Son de fácil mantenimiento y limpieza, con accesibilidad de sus componentes para mantener una rutina diaria y continua de limpieza.

Los concretos para proyectos carreteros son producidos con las características que se requieren para ser colocados en la vía, siendo solo afectados por el clima y la edad, y son transportados en camiones de volteo ó tipo “Flow Boy”.

Dentro de las variedades de plantas de mezclado central, encontramos plantas simples con un sistema de dosificación y una olla de mezclado o las que tienen la inclusión de un tambor premezclador anterior a la mezcladora, este recibe la dosis de materia prima mientras la olla está descargando el concreto homogeneizado, también conocidas como de producción continua en una sola línea. Esto implica una mayor capacidad de producción.

Con el fin de incrementar la producción, existen plantas de mezclado central “doble mezcladora” lo que permite hacer más eficiente el sistema de dosificación, pues mientras una mezcladora homogeneiza el concreto, la segunda está siendo dosificada, las cuales cuentan con dos líneas de carga. Un paso adicional en la búsqueda de incrementar la producción es contar con dos sistemas de dosificación, uno para cada mezcladora, este es el caso de las plantas de doble línea de carga.

Los pasos principales para la habilitación y producción en una planta de mezclado central son:

- Selección del Sitio
- Cimentación de la planta
- Movilización e Instalación de la planta

Las plantas móviles son transportadas en partes, manteniendo en cada transporte una sección completa de la planta de tal forma que la instalación se hará manteniendo un orden y secuencia. Normalmente para su instalación se debe contar con una o dos grúas de tamaño suficiente para garantizar el montaje seguro de los equipos (80-100 ton.) y con el apoyo de personal capacitado y supervisado para hacer un trabajo seguro y estable.

- Calibración y Ajustes

Antes de iniciar la producción de concreto se deben calibrar los elementos de medida de la planta y mantener este control periódicamente.

Los elementos que se calibran son:

- Básculas (Carátulas, celdas mecánicas o de carga)
- Medidores de agua
- Dosificadores de aditivos
- Ajustes de las tolerancias de las dosis
- Ajuste de las señales y la información entregada por las computadoras
- Ajuste de los controles automáticos

Para la alimentación de agregados a la planta, se debe contar con el número de cargadores frontales que garanticen una operación sin interrupciones, o sea que se requerirán al menos uno o dos cargadores alimentando dos o más tipos de agregados.

Estas plantas cuentan por lo general con silos horizontales móviles de 150 toneladas de capacidad para almacenamiento de cemento a granel. La ubicación de los silos con respecto a la planta debe ser siempre lateral y buscando reducir al máximo el trabajo necesario para su alimentación a la planta, se hace mientras la

planta está en operación y puede haber varias pipas descargando al mismo tiempo mientras otras están esperando turno.

El agua es necesaria no solo para la mezcla de concreto sino que se requiere una cantidad para el lavado de los camiones y para la limpieza de la planta. La limpieza de los camiones es importante para evitar que el concreto se contamine y para retirar restos de concreto que se hayan quedado adheridos en la anterior descarga. Estas necesidades de la planta pueden requerir aproximadamente de 500 a 600 metros cúbicos de agua potable por día. Es fundamental tener almacenados por lo menos el 20% del consumo diario.

En la producción de concretos para pavimentos se utilizan diversos tipos de aditivos con el fin de lograr las condiciones de mezcla requeridas por el tipo de transporte y la forma de colocación con la pavimentadora. Es usual contar con depósitos móviles de aditivos fáciles de instalar y con capacidad de almacenamiento lo suficientemente grande para garantizar el suministro de producto al proyecto.

Otros elementos que forman parte de la planta son:

- Caseta de operación y generador de energía.*
- Área de maniobras de los camiones en su acceso, espera, carga y salida.*
- Almacén de insumos, almacén de refacciones y taller.*
- Báscula (opcional)*
- Laboratorio de planta.*
- Área para ubicación de desperdicios.*

El tráfico dentro de la planta y el que circula en dirección al frente de pavimentación debe ser cuidadosamente analizado, para lograr completar adecuadamente el ciclo de suministro de concreto, buscando minimizar los tiempos de recorrido y garantizando la seguridad en la planta. Es fundamental desarrollar los patrones de flujo de tránsito interno para todos los vehículos, en ellos se debe separar el tráfico de entrega de materiales y el de acarreo de

concreto, además se deben incluir áreas de espera, zonas de lavado de camiones y estacionamientos.

Se deben instalar y construir todos los drenajes que permitan el correcto manejo de las aguas de lavado, limpieza, desperdicios de producción y de servicio humano así como las de lluvia.

b) PLANTAS DOSIFICADORAS CON CAMIÓN REVOLVEDOR

Se recomienda su uso en proyectos de mediana y pequeña magnitud, donde los equipos de colocación no requieran de un gran volumen de concreto, pero que aseguren la calidad en la consistencia y trabajabilidad de la mezcla.

El rendimiento que se puede lograr con estas plantas es de aproximadamente 40 a 50 m³ por hora.

En este caso los materiales que conforman el concreto son dosificados por la planta directamente en un camión revolvedor por el operador de la planta y el camión revolvedor será el encargado de hacer el mezclado adecuado de los elementos para la elaboración del concreto. A este tipo de concreto también se le conoce como Concreto Premezclado y permite producir concretos para pavimentos de alta calidad que garantizan un rendimiento constante y de buena calidad para el pavimento.

Estas plantas también las hay del tipo móvil, las cuales se pueden transportar y montar fácilmente para cumplir las necesidades de un proyecto en particular.

c) PROCESO DE PAVIMENTACIÓN

1. Tendido de Línea Guía

Con la información del cadenamiento y cotas de los puntos que sirven para la localización de las barras de soporte de la línea, se procede a colocar cada barra o "pin" en su sitio correspondiente. Estos puntos físicos normalmente están marcados con elementos como clavos metálicos en trozos de madera y pintados

para su fácil reconocimiento, normalmente están localizados a una distancia de 150 cm del borde de la losa. La barra o “pin” debe quedar a una distancia aproximada de 25 cm del punto proyectado y debe estar clavado lo suficiente dentro de la base como para garantizar la estabilidad de la línea ante el paso de la pavimentadora, la texturizadora y el personal de obra. Esta barra o “pin” debe ser metálica y lo suficientemente rígida para soportar los golpes de martillo usados para su clavado en la base y su uso prolongado en la obra. La línea que une todos los “pines”, la distancia entre “pines” en un trazo plano debe ser entre 8 y 10 metros, en curvas horizontales o verticales se deben colocar más próximos, con una separación máxima de 5.0 m.

La separación de los “pines” no debe ser igual que la de los sensores de altura de la máquina, esto para reducir la sincronización de los movimientos en altura de la pavimentadora. Con el fin de tener mayor precisión en el perfil y los espesores es importante tener líneas guías a ambos lados de la pavimentadora.

Después de localizadas todas las barras o “pines” se procede a colocar los brazos que soportan la línea guía, estos brazos son metálicos con la forma adecuada para no interrumpir el tránsito libre de los sensores de la pavimentadora y la texturizadora sobre la línea guía, también debe contar con el mecanismo para ajuste de altura sobre la barra y de prolongación para ajustar la distancia de la línea respecto a la barra y permitir localizar la línea sobre el punto correcto. Los brazos tienen la posibilidad de asegurar la línea guía para que esta no se suelte al paso de los sensores o por el movimiento del personal cercano.

Los hilos o cuerdas de la línea pueden ser de alambre, cable, nylon tejido, cuerda de poliestireno o cualquier otro material similar, por un lado deben ser suficientemente fuertes como para resistir la tensión a la que se somete y debe ser liviano para que no mueva el alineamiento. La razón de la tensión es reducir las catenarias entre apoyos, el tensionamiento se realiza manualmente o con la ayuda de un carrete metálico que se monta sobre barras o “pines” y debe hacerse antes de insertar o montar el hilo en los soportes a fin de garantizar un tensionamiento uniforme. En esta actividad es importante usar elementos de seguridad ante

posibles rompimientos de la cuerda o hilo, ya que normalmente los brazos metálicos traen rebabas en los puntos de inserción del cable, es conveniente limarlas. Si una cuerda se rompe es señal de que debe ser cambiada, no la añada, es mejor conseguir una nueva.

Es importante aclarar que la varilla del sensor de dirección de la máquina corre contra el interior de la línea guía, esto para que no haya elementos que desvíen ninguna de las varillas, excepto la misma línea y puedan transitar libremente, por otro lado las varillas no deben flexionar la línea en forma notoria. La longitud de la cuerda que se tensiona no debe ser mayor a 200 metros, esto para reducir errores, el traslape de las cuerdas se debe hacer en una longitud de por lo menos 20 metros.

Una vez tensionada la cuerda o hilo e insertada en el brazo soporte se procede a plomar el punto de contacto entre la cuerda y el brazo con el punto físico dado por topografía, esta actividad se inicia soltando las tuercas de ajuste del brazo al “pin” y mediante una plomada de mampostero o un nivel de burbuja se determina el punto al cual debe quedar para proceder a fijar las tuercas.

El ajuste en altura se puede realizar simultáneamente con la anterior y se realiza con los datos entregados por la comisión topográfica, se realiza soltando la tuerca de ajuste en altura y con ayuda del nivel de burbuja y un flexómetro se determina la altura de cada punto.

Una vez que se tiene instalada la línea guía debe ser verificada visualmente, cualquier duda o error debe ser verificada o corregida con topografía.

2. Preparación de equipos

Todos los equipos que participan en el tirado o extendido del concreto en la obra deben ser probados en vacío antes de iniciar la recepción del concreto.

En el caso de la pavimentadora, deben activarse sus sistemas hidráulicos tanto motrices como de transporte, compactación y vibrado del concreto detectando

fugas y conductos en mal estado y con énfasis en la respuesta a las indicaciones de los sensores tanto en altura como en dirección.

Es muy importante prevenir la acción de fragmentos de concreto que no hayan sido eliminados en la limpieza diaria y que obstaculicen el desplazamiento de algunas de las partes de la pavimentadora, es recomendable que la pavimentadora cuente con un sistema neumático que permita el uso de pistolas rompedoras de concreto con el fin de facilitar su limpieza y de suministro de agua a presión, de igual forma debe revisarse la calidad de elementos de acabado del concreto para verificar el tipo de acabado que pueden ofrecer tanto en textura como en uniformidad. Es muy importante conocer que el perfil de la vía obtenido por la pavimentadora será definitivo para el proyecto.

Los vibradores deben estar correctamente localizados, respetando el área frente a cada vibrador o zona de influencia entregado por el fabricante y ajustado de acuerdo a la cabeza hidrostática proyectada en la colocación y el tipo de concreto a colocar, esto último solo influirá de acuerdo a la experiencia del operario o del constructor con mezclas similares.

La apariencia de un vibrador en mal estado es diferente a la de sus vecinos, la alta temperatura alcanzada por el aceite en el interior de un vibrador defectuoso provoca cambios en el aspecto externo. De igual forma se deben identificar fugas de aceite en sus mangueras o uniones.

Un vibrador en mal estado definitivamente debe cambiarse, no se debe permitir pavimentar con vibradores defectuosos.

Otros vibradores presentes en la pavimentadora son los vibradores de piso, estos van localizados sobre las placas metálicas (float-pan) que se instalan a la salida del concreto de la placa de extrusado o profile-pan, estos vibradores y las placas que conforman el float-pan deben revisarse tanto en su estado como en su limpieza para garantizar un buen acabado del pavimento.

El float-pan igualmente debe tener la posibilidad de dar el bombeo de la vía su sistema de soporte para que quede “flotando” y el ajuste hidráulico para las pendientes debe ser igualmente revisado.

El dispositivo para formar la corona o bombeo de la carretera se debe probar en todo su conjunto, aunque no todos los proyectos lo requieran, tanto la formación del bombeo a la entrada (en el strike off) como en la placa de extrusado y en las indicaciones que el operador de la máquina recibe de la localización de estos elementos. En la sección de la placa o molde de extrusado (profile-pan), el ajuste se hace liberando cada tuerca de fijación de las planchas de extrusado y alineándolas de acuerdo a la pendiente o pendientes transversales requeridas para una sección, esta alineación se puede hacer mediante un ajuste hidráulico que poseen algunas máquinas o manualmente si no se cuenta con él, y alienando con la ayuda de un hilo o lámina metálica recta, finalmente se asegura todo el sistema.

Se debe recordar que en caso de coronas o bombeos de la losa, otros elementos deben ser ajustados para dar la forma, entre estos se encuentran los vibradores y el tornillo repartidor, este último no tiene ajuste pero se recortan la longitud de los pasos centrales.

El mecanismo hidráulico de ajuste es fundamental para dar la forma correcta en tramos de transición de recto con doble pendiente a curvo con una sola y en este sentido debe haber un apoyo continuo de la comisión topográfica del proyecto.

Posteriormente se encuentra el final finisher o llana metálica de la pavimentadora, su revisión se hace en cuanto a la calidad del movimiento en zigzag y el estado de la superficie. Este es un elemento que da un buen acabado siempre que se encuentre en perfecto estado y siempre que el concreto sea muy homogéneo. La decisión de utilizar esta llana ó de dejarle todo el trabajo a las llanas manuales se debe tomar en los primeros metros de pavimento.

En cuanto a los sensores hay que tener en cuenta que existen muchos tipos de sensores y aunque los más usados en pavimentos son los hidráulicos existen

también eléctricos, láser y sónicos. Cada tipo de sensor debe ser usado e instalado de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y contando con personal de experiencia. Normalmente las pavimentadoras usan cuatro sensores de altura, aunque algunas solo usan dos, con cuatro se puede tener mayor un control del espesor de la losa, sin embargo con dos sensores y un excelente trabajo de topografía y perfilado de la rasante, se pueden lograr muy buenos resultados.

Los sensores de altura están localizados adelante y atrás de la máquina y haciendo contacto en cada extremo con la línea guía. En este caso es importante anotar que algunas pavimentadoras traen los sensores traseros unos metros atrás de profile- pan o molde de extrusión y en caso de curvas verticales cerradas, se corre riesgo de una variación fuerte del espesor de la losa.

Las varillas de los sensores de altura deben fijarse tan cerca de la horizontal como sea posible y a la misma distancia del equipo de la línea guía, esta distancia normalmente debe ser entre 20 y 25 cm. La presión de la varilla a la línea guía se podrá ajustar cuando sea necesario durante la pavimentación, el sensor tiene o debe tener una contrabalanza a fin de ajustar la presión y con esta y con el ajuste del tornillo amortiguador se controla la “sensibilidad” y precisión del sensor, esto con el fin de reducir los movimientos bruscos y continuos del sensor y de la máquina.

La separación de los pines de la línea guía no debe corresponder a la separación entre sensores, con esto se logrará que los dos sensores no estén al mismo tiempo en valles o en picos de olas catenarias formadas en la línea guía y mejorar así el perfil de la guía.

En cuanto a la texturización se debe probar la respuesta de los sensores a las variaciones de la línea guía, el estado de los elementos de texturizado (tanto yute como peine de cerdas metálicas o plásticas según sea el proyecto) y el estado de los orificios de las espreas o aspersores de membrana de curado, así como el estado del depósito de membrana y de los tubos conductores.

Otros equipos que deben ser probados son las cortadoras de discos para el concreto y los reflectores de emergencia. En algunos proyectos se cuenta con equipos esparcidores o colocadores del concreto con el fin de facilitar la labor de la pavimentadora y lograr un mayor rendimiento.

3. Inicio de los Trabajos

Antes de iniciar la jornada de pavimentación deben revisarse todas las medidas de seguridad y tomar todas las precauciones para el personal de la obra.

Para iniciar se deberán revisar los siguientes puntos:

- *Revisión de todo el equipo involucrado en la pavimentación.*
- *Que se cuenta con una distancia aceptable del tramo a pavimentar.*
- *Disponibilidad de materiales tanto en volumen como en calidad.*
- *Reservas en almacén y obra.*
- *Equipos de ensayo en buen estado y con personal disponible.*
- *Herramientas necesarias para la colocación del concreto:*
- *Flotadores manuales.*
- *Aspersores.*
- *Vibradores manuales.*
- *Comunicación por radio entre el frente de trabajo y planta.*
- *Equipo y agua suficiente para humedecer la rasante.*
- *Colocación de la línea guía.*
- *Verificar la junta fría y la correcta colocación de las pasajuntas.*
- *Revisar el pronóstico del tiempo.*

Es importante tener la base o rasante saturada para recibir el concreto, las bases con falta de agua pueden absorber agua del concreto y reducir la hidratación del cemento ocasionando bajas resistencias.

4. Pavimentación con cimbra deslizante

Las pavimentadoras modernas cuentan con un mecanismo para manejo del concreto, este se puede dividir en recepción y acomodamiento, vibrado y compactación, y perfilado o extrusado.

La distribución del concreto al frente de la pavimentadora es el primer contacto entre el concreto y la pavimentadora y se logra mediante un tornillo sinfín o gusano que, controlado por el operador permite transportar el concreto en el frente de la máquina a fin de repartirlo y dosificarlo hacia los lados de la máquina, este trabajo es complementado posteriormente por el “tamper bar”.

Algunas pavimentadoras cuentan con un receptáculo entre el gusano y el panel o plancha de cimbrado y que contienen los vibradores o de lechada. Esta caja esta cerrada formalmente por el strike-of y eventualmente la viga estructural o chasis de la máquina.

En las máquinas que cuentan con caja de lechada encontramos inmediatamente después del tornillo repartidor una lámina metálica horizontal o strike-of que sube o baja de acuerdo a las indicaciones del operador con el fin de ampliar o reducir la cabeza estática del concreto dentro de la maquina y que se antepone a la viga frontal estructural de la maquina. El strike-off debe ser ajustado a las condiciones de pendiente transversal de la vía, bombeo o corona.

En las pavimentadoras de cimbra deslizante encontramos dos tipos de vibradores, los primeros o internos se localizan en la caja de vibradores o de lechada, los segundos o vibradores de piso se usan para mejorar el acabado.

En las pavimentadoras que no cuentan con caja de lechada encontramos los vibradores inmediatamente después de tornillo repartidor y antes del molde o placa extrusora.

En las zonas adyacentes a los vibradores excéntricos internos o zona de influencia de los vibradores se produce la energización del concreto, esto es la movilización de las partículas del concreto, las burbujas de agua y aire suben a la superficie

explotan y el volumen de la mezcla se reduce, facilitando su entrada al panel de extrusado.

Los vibradores tienen dos funciones, consolidar el concreto y hacerlo fluido para que pase por el molde o caja extrusora. Físicamente el efecto deseado es lograr la frecuencia de resonancia de las partículas dentro de la mezcla o sea que se exciten y se junten logrando eliminación de vacíos. Importante, esta frecuencia es diferente para cada tamaño de partícula y diferente para cada gradación en particular y del diseño de la mezcla.

Un vibrador es un émbolo que gira en el interior de un tubo o cubierta, el émbolo está apoyado en el extremo del que se produce el giro, quedando el otro extremo o cabeza libre, el giro libre de la cabeza (envuelto en aceite) produce la vibración. La energía transmitida por el vibrador (fuerza centrífuga) es directamente proporcional a el peso de la cabeza y a la velocidad de rotación, la velocidad es la única variable que se puede controlar y se hace variando la velocidad de giro del motor del vibrador, esta velocidad se mide en VPM y se controla desde el puesto de mando de la pavimentadora. En general la energía requerida varía entre 7.000 9.000 VPM.

Con la variación de la energía transmitida por el vibrador varía la zona de influencia. Otras variables que afectan esta zona de influencia son:

- La velocidad de la pavimentadora*
- La calidad del montaje aislado del vibrador*
- Las distancias entre la cabeza y el punto de aseguramiento al tubo soporte.*

La separación de los vibradores debe hacerse de tal forma que haya un pequeño traslape de las zonas de influencia, el posicionamiento de los vibradores en el tubo soporte debe hacerse de acuerdo a las recomendaciones de los fabricantes y de la experiencia con el tipo de mezcla a usar.

La distancia de traslape entre las zonas de influencia es normalmente de 50 a 75 mm, no traslapar implica segregar la mezcla. Debe tenerse especial cuidado con el vibrado en el borde de la losa.

Cualquier falla en un vibrador manifestará inmediatamente en el aspecto de la losa de concreto, en este caso debe de apoyarse en vibradores manuales y ampliando la zona de influencia de los adyacentes.

El vibrador no es la solución para todos los problemas de la mezcla e incluso pueden ser causa de problemas en la mezcla, excesiva vibración causará segregación y reducción del contenido de aire, poca vibración causará un mal acabado y un volumen alto de vacíos reduciendo su resistencia.

En este mismo receptáculo se encuentra el tamper-bar, barra o cuchilla compactadora, característico solo de algunas pavimentadoras, que se usa para profundizar fragmentos de grava que hayan quedado superficialmente, aunque para algunos fabricantes su función es mantener el movimiento dentro de la caja de vibradores y de esta forma mantener un flujo continuo y no se pegue a las paredes.

Finalmente encontramos la placa extrusora del concreto (profile-pan), en la cual el concreto toma la forma de la losa, en esta sección es importante el perfecto alineamiento de las planchas que la conforman y el perfecto estado, libre de abolladuras o deformaciones que incidan en el perfil, por insignificantes que parezcan.

La cimbra deslizante de la máquina se encuentra en los lados, misma que los elementos superiores confinan el concreto. Se puede dividir en dos secciones, una que confina el concreto para lograr que el gusano lo pueda esparcir y otra que va desde el strike-off hasta la salida posterior del concreto. La primera normalmente va siendo arrastrada sobre la base o puede ser de altura variable según la variación del perfil del suelo; la segunda puede ser completamente levantada para facilitar su limpieza y puede ser ajustada mediante pernos para mejorar la acción de los vibradores laterales y permitir un hombro de losa con un mejor terminado.

El resultado de un buen trabajo con el equipo de cimbra deslizante es una forma geométrica y superficie uniforme tanto en la dimensión horizontal como en la vertical, para esto es fundamental un suministro continuo y homogéneo del concreto y lograr movimientos uniformes de la máquina.

Las pasajuntas pueden ser colocados mediante un montaje en canastas metálicas que garantizan su correcta disposición en las losa de concreto y que permiten un libre movimiento de las losas de concreto, ó pueden insertarse mediante elementos mecánicos que aseguren su correcta posición.

Los pasajuntas deben haber sido bañados con grasa, diesel o pintura para evitar que se adhieran al concreto. La canasta se debe colocar en el lugar indicado por la comisión de tendido de la línea guía y debe ser fijada a la base mediante pernos de fijación bien sea con ayuda de pistola de impacto o mediante golpes de martillo, también se pueden usar ganchos metálicos o láminas y clavos. Es importante garantizar la importante fijación de la canasta y evitar su movimiento mediante la presión de la máquina, si la canasta se mueve al momento de colocar el concreto, la losa no tendrá la libertad para mover longitudinalmente, lo que puede ocasionar fisuramientos y fracturas de los bordes de la misma.

Los insertados automáticos de barras hacen el trabajo completo de localización de barras después del vibrado y antes de que se le dé el acabado a la losa, reduciendo costos al eliminar el esqueleto de la canasta y evitando el riesgo de movimiento de la canasta por la presión de la pavimentadora.

Es importante la labor de dirección del jefe de pavimentación y su continua comunicación con el operador de la pavimentadora, esto con el fin de lograr una buena repartición del concreto y un movimiento mínimo de las canastas pasajuntas. En esta tarea juega un papel muy importante la labor de los coordinadores de descarga y de colocación de canastas y sus indicaciones deben ser conocidas por todos los conductores y personal que se localice en este sector y supervisadas por el operador de la pavimentadora y el jefe de pavimentación.

La seguridad se impondrá en todo momento, es prudente considerar alarmas de retroceso, procedimiento de descarga (orden de entrada, salida y señales para avance y parado) y control del tráfico para la entrada y salida de camiones de vías transitadas al sector de cargue entre otros.

Cuando se tiene tirada y posicionada la línea guía en una longitud importante al frente de la pavimentadora, esta se puede soltar de los brazos en un tramo de 50 metros aproximadamente y tenerla en el piso sin distensionarla asegurada por dos elementos pesados (grupo de barras de amarre), todo esto para facilitar la entrada salida de los camiones al tramo.

Las operaciones de pavimentación del día se deben iniciar con la producción de dos o tres bachadas, que por el tipo de equipos usados en estos proyectos, corresponden a dos o tres camiones. El concreto de estos camiones debe ser revisado por el laboratorio con las pruebas de revenimiento, contenido de aire y peso volumétrico para ser enviados a la obra, en este momento se inicia la labor de pavimentación propiamente dicha, es decir, se continua produciendo concreto y enviándolo al frente de pavimentación.

El concreto una vez que llega al frente de pavimentación, debe ser revisado, primeramente por el jefe de pavimentación para determinar rápidamente si se puede descargar, y de ser así, una vez descargados, deberán ser revisados por el laboratorio, de esta forma se determina la pérdida de trabajabilidad que ha sufrido el concreto durante el viaje y se procede a ajustar la producción de la planta.

La uniformidad es el factor más importante para obtener un buen trabajo, si no se cumple la uniformidad en todas las fases, se dificultará obtener un buen perfil.

La distancia de la planta de producción al sitio de colocación es un factor que determina una entrega oportuna de concreto a la pavimentadora. El tiempo de viaje hacia y desde la entrega del concreto se determina también por las condiciones del tráfico y del estado de la vía y esto debe tenerse en cuenta para ajustar el número de unidades de transporte.

Es práctica común que los primeros viajes de concreto, este se envíe ligeramente alto en revenimiento para después ir reduciéndolo. Este concreto que se conoce como concreto de de carga de la pavimentadora se puede enviar con 8 cm para ajustar en 6 o 5 cm, con el fin de sobreponerse a pérdidas de trabajabilidad mayores a las esperadas y es válido si se tiene en cuenta que es concreto que será prácticamente colocado a mano pues la máquina no habrá podido llenar sus cimbras completamente y es necesario llevar concreto en un cargador para completar el faltante.

Como los dos o tres primeros viajes normalmente no son suficientes para llenar las cimbras y cajas de la pavimentadora, y lograr una carga hidrostática dentro de la máquina, es conveniente contar con un cargador o retroexcavadora para introducir y repartir el concreto frente al gusano de la pavimentadora.

Los puntos a cuidar en esta etapa son:

- Controlar la trabajabilidad de la mezcla*
- Mantener la relación Agua / Cemento de diseño*
- Ajustar los volúmenes suministrados en cada viaje*
- Verificar el espesor colocado*
- Evaluar la calidad de la superficie dejada por la pavimentadora*
- Ajustar la velocidad de avance del tren con respecto al suministro de concreto (recordar que los equipos de pavimentación en lo posible no deben parar)*
- Iniciar la rutina de cálculo de rendimiento*

Las barras de amarre prácticamente se instalan en todas las juntas longitudinales, la altura de colocación es la mitad del espesor de la losa incluso en las juntas machimbradas. En construcción con cimbra deslizante estas barras pueden ser colocadas mediante extensiones o silletas antes de la colocación del concreto o bien insertadas en el concreto o bien insertadas en el concreto en estado plástico con un insertador automático.

Los insertadores automáticos de barras de amarre vienen acondicionados en la parte posterior de la pavimentadora, requieren entonces de una placa flotante que borre la huella de la inserción cuando el insertador está en el centro de la losa y el pavimento tiene bombeo, esta placa flotante debe tener la forma para no dañar el ángulo o el bombeo.

Las barras de amarre que se utilizan para las juntas longitudinales de carriles adicionales o sobreanchos normalmente se instalan con insertadores laterales automáticos o manuales, se acostumbra colocar las barras dobladas para ser enderezadas una vez el concreto está endurecido y ya no entorpezca las labores.

También se pueden colocar estas barras manualmente a la salida de la pavimentadora, obviamente previniendo al personal de posibles accidentes con las barras laterales, es probable que al proponer esta práctica el calculista solicite una longitud mayor de anclaje de la barra.

5. Acabado superficial del pavimento

Es el acabado de la superficie del concreto al proceso de obtener una textura acorde a las especificaciones del proyecto, homogénea, segura y durable, mediante técnicas sencillas y de rápida ejecución y usando las herramientas adecuadas.

Primero se realiza el afine, con el afine se busca conseguir una superficie adecuada para obtener un buen texturizado, resistente a la fricción del tráfico y sin afectar la geometría dejada por el extrusado. No se debe hacer el terminado mientras se observe la presencia de agua en la superficie.

Para lograr un buen acabado existen en el mercado multitud de herramientas montadas en la pavimentadora, en montaje independiente y guiadas con la línea guía de la pavimentadora o manuales, el éxito en el intento de obtener un buen acabado radica en buena parte en el criterio de elección del equipo más adecuado, las variables más comunes son el tipo de concreto, el clima reinante y la velocidad y condición del concreto dejada por la máquina.

En cuanto a herramientas manuales se cuenta con una gran variedad y su uso depende de las condiciones del proyecto.

En pavimentaciones con cimbra deslizante es necesario usar llanas de gran dimensión para cubrir un gran espacio y mantener el ritmo y la velocidad de la pavimentadora, normalmente son llanas a las que se les monta un largo mango para cubrir todo el ancho de la carretera desde uno solo de los lados, en la unión entre mango y llana se instala un pivote que permite ajustar el ángulo de ataque de la llana y evitar que penetre la losa. Sin embargo es muy importante aclarar que su diseño incluye un peso adecuado para obtener un acabado acorde con su uso, por esto no se recomienda incluir mangos de materiales distintos al incluido en su diseño, ocasionalmente es necesario adicionar algún elemento metálico a la llana para incrementar su peso y obtener un mayor efecto; también se recuerda que obtener un buen acabado en el borde contrario al usado por el operario o finishero es difícil, si el ancho de la losa es importante, por esto se recomienda un finishero a cada lado como mínimo.

Las llanas metálicas más comúnmente usadas son las del perfil acanalado y tratadas con tungsteno o material similar, se conocen como llanas canal o aviones si su dimensión es importante.

El trabajo del finishero termina cuando obtienen una superficie pareja sin marcas de la placa extrusora ni de las llanas.

El proceso experimentado superficialmente por el concreto una vez que sale de la pavimentadora, es la liberación del agua de sangrado y posteriormente seca esta superficie, adquiere un tono mate que indica el momento del texturizado. Los concretos para pavimentos sangran poco o nada como se vio en la sección correspondiente y una buena labor de vibrado deja una superficie con suficiente mortero como para que no haya ninguna dificultad en obtener un buen acabado, el exceso de vibrado creará superficies con exceso de mortero lo que a su vez ocasiona baja resistencia a la fricción.

Normalmente la primera pasada de la llana abre poros y permite salida de pequeñas cantidades de agua y aire presente cerca de la superficie, la segunda pasada o el uso de otra herramienta busca cerrar los poros abiertos y sacar a la superficie granos de arena, esta otra herramienta puede ser una llana fina o tipo fresno.

Un buen diseño de concreto debe tener en cuenta la producción de suficiente mortero superficial que de un buen acabado.

6. Microtexturizado Longitudinal

Buena parte de la seguridad que una carretera nos pueda ofrecer está dada por la correcta ejecución de esta etapa, la distancia de frenado de los vehículos tiene relación directa con el grado de adherencia o fricción que hay entre la superficie de contacto neumático-concreto.

El microtexturizado se realiza corriendo una tela de yute húmeda a lo largo del tramo de concreto una vez que se ha logrado un buen afinado y que la superficie está seca para que permita la presencia de granos de arena después del paso de la tela. Las texturizadoras vienen equipadas con soportes y ganchos para colgar la tela, el soporte puede bajar para que entre en contacto con la superficie y subir cuando se realiza otra actividad.

Las variables a controlar son: la humedad de la tela, el tiempo de aplicación y la velocidad de aplicación. El exceso de humedad se percibe con la presencia de burbujas de agua detrás del paso de la manta, por el contrario la falta de humedad causa levantamiento de concreto. El agua se puede aplicar, rociando con la ayuda de una bomba manual. Algunas texturizadoras vienen acondicionadas con irrigadores que mantienen húmeda la tela.

El tiempo de aplicación debe ser al cambio de tono del concreto de brillante a mate, la velocidad debe ser suficiente para no levantar concreto. Otros aspectos que deben tenerse en cuenta es la limpieza de la tela y procurar que el tejido sea continuo y no coser tramos de yute para dar la longitud, por un lado una tela con

fragmentos de concreto adheridos marcara excesivamente en el concreto y lo mismo ocurre con las costuras de la tela.

Alternativamente se puede utilizar pasto sintético o cuero para realizar esta actividad en sustitución de la tela de yute.

7. Macrotexturizado Transversal

El macrotexturizado o texturizado transversal que normalmente se realiza con peine metálico, permite la rápida evacuación de agua de la superficie del pavimento, permitiendo el contacto entre los neumáticos de los vehículos a alta velocidad y el pavimento y evitando el peligroso acuaplaneo. El proceso constructivo se logra mediante el uso de una texturizadora. Los sensores de la texturizadora usan como referencia para su movimiento las línea guía de la pavimentadora lo que le permite obtener un correcto manejo de los traslapes y separaciones de las líneas sobretodo en las curvas horizontales.

Las variables a tener en cuenta son el tiempo de aplicación, la profundidad del texturizado y la separación de las cerdas.

El tiempo de aplicación depende de la experiencia del operador de la texturizadora bajo el control del jefe de pavimentación, sin embargo una idea es que el microtexturizado avanza unos cien metros y al regreso a su punto inicial la superficie estará lista para recibir el peine, debe evitarse su aplicación tardía ya que obligaría a una mayor presión o profundidad lo que terminaría sacando agregado del concreto y dejando un acabado irregular.

La profundidad de texturizado debe estar entre los 3 mm y los 6 mm que es suficiente como para que se marque suficientemente el peine, pero de tal forma que el agregado grueso no se levante o se mueva y no se marque en exceso.

Es importante utilizar peines de texturizado en buen estado, con todos sus dientes, limpios y bien alineados a fin de no producir un efecto irregular.

8. Curado del concreto

Esta operación se efectuará aplicando en la superficie una membrana de curado a razón de un litro por metro cuadrado (1 lt/m²), para obtener un espesor uniforme de aproximadamente un milímetro (1 mm.), que deje una membrana impermeable y consistente de color claro que impida la evaporización del agua que contiene la mezcla del concreto fresco.

La aplicación de la membrana de curado se hace mediante la irrigación de compuestos curadores sobre la losa de concreto fresco con ayuda de la texturizadora-curadora.

Este trabajo se hace en la texturizadora donde hay un depósito de membrana de curado y conductos que llevan el líquido hasta los aspersores o espreas. Los depósitos de las texturizadoras algunas veces cuentan con agitadores de aire o agitadores de paletas, si el equipo no tiene estos accesorios deben agitarse manual continuamente, esto para evitar taponamientos de los conductos y las espreas.

Los compuestos curadores mas adecuados tienen un pigmento de color blanco, esto les da la ventaja de no concentrar el calor en el concreto y permiten distinguir las zonas ya tratadas y la uniformidad de su aplicación.

El compuesto curador se aplica inmediatamente después de efectuarse el texturizado transversal, aunque en ocasiones y con el fin de proteger el concreto de la acción del sol y vientos fuertes rasantes, se puede hacer en dos etapas aplicando la primera antes del microtexturizado y la segunda después del texturizado transversal. Es importante realizar la aplicación de la membrana también sobre los bordes verticales de la losa.

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.

Durante el tiempo de endurecimiento del concreto deberá protegerse la superficie de las losas contra acciones accidentales de origen climático, de herramientas o del paso del equipo o seres vivos.

9. Modulación de las losas

La modulación de las losas es proveer la geometría de tableros diseñada por el Especificador para inducir el agrietamiento de manera controlada. El mayor cuidado se debe tener en garantizar que la junta quede en el mismo sitio donde fueron colocadas las pasajuntas y donde fue indicado inicialmente.

La señal para la localización de las canastillas y de la junta debe quedar suficientemente separada de la losa y del sector de tránsito de la máquina para que no sea borrada en el trabajo de pavimentación y revise que la modulación se haga con base a las marcas de los dos extremos de la losa y que la señal se haga siempre de la misma forma a fin de evitar confusiones.

La modulación se debe hacer con polvo mineral de un color que permita ser observada fácilmente por el operario del equipo de corte en la noche y a la luz del mismo equipo.

Las pavimentadoras equipadas con insertador automático de pasajuntas (DBI) tienen un dispositivo que marca la ubicación de la pasajuntas con pintura.

10. Juntas Frías

Es necesario realizar una planeación adecuada de juntas frías, para mantener la uniformidad en el pavimento y evitar desperdicios o faltantes de concreto.

La junta fría se debe construir en todo el ancho de colado, se deben utilizar canastas de barras pasajuntas para garantizar la transferencias de cargas entre las losas. La alineación de las pasajuntas y su correcta instalación dependen en gran medida de la cimbra utilizada para formar la junta. Siempre que sea posible se deberá de tratar de hacer coincidir la junta fría con una junta de contracción.

11. Corte de Juntas en el Concreto

El corte de las losas de concreto es una generalidad de todos los pavimentos de concreto, en pavimentos contruidos con cimbra deslizante se debe hacer énfasis en el estado, el tipo y el número de equipos necesarios para garantizar un trabajo de buena calidad, continuo y principalmente permita que se alcance a cortar toda el área pavimentada en una jornada.

La clasificación de las cortadoras se hace normalmente por la potencia de su motor en KW y es conveniente que sean autopropulsadas. En proyectos carreteros las cortadoras deben ser con potencias del orden de los 50 a 60 KW, autopropulsadas y diseñadas para hacer corte en húmedo, o sea que el disco de corte es enfriado continuamente por agua.

La profundidad del corte es de un tercio del espesor de la losa.

Este corte deberá realizarse cuando el concreto presente las condiciones de endurecimiento propicias para su ejecución y antes de que se produzcan agrietamientos no controlados. Es importante iniciar el corte en el momento adecuado, ya que de empezar a cortar antes de tiempo podemos generar despostillamientos de las losas, en el caso de realizar el corte en forma tardía se estaría permitiendo que el concreto definiera los patrones de agrietamiento y de nada servirían los cortes por realizar. Este tiempo depende de las condiciones de humedad y clima en la zona, así como de la mezcla de concreto, por lo general el proceso de corte deberá iniciar entre las 4 ó 6 horas de haber colocado el concreto y deberá terminar antes de 12 horas después del colado del pavimento.

Deberán realizarse primero los cortes transversales y posteriormente los longitudinales.

Para realizar los cortes longitudinales es común utilizar una guía ajustable a los bordes de la losa y de esta forma garantizar un correcto seguimiento del alineamiento de la vía.

El tipo de disco de corte debe ser escogido dependiendo del tipo de agregado a fin de determinar que composición de material abrasivo cortador es el más indicado.

12. Ensanches de Juntas

El ensanche de la junta o segundo corte se realiza para obtener suficiente espacio donde alojar el material que se usara en el sello y de esta forma ofrecer un factor de forma apropiada (en profundidad y ancho) para el correcto desempeño del sellador.

El factor de forma especificado para cada proyecto debe ser incluido en las especificaciones constructivas. El corte de ensanche se hace con cortadoras de corte húmedo y la forma se obtiene ya sea con un disco de 6 mm de espesor o apilando dos discos de 3 mm de espesor y cortando a una profundidad menor.

13. Limpieza y Sello de Juntas

La limpieza de juntas es necesaria para evitar que dentro de la junta se alojen materiales incompresibles y permitir una perfecta adherencia entre el sellador y el concreto.

Las actividades generales de esta etapa son:

- Lavado de la junta con agua a presión*
- Limpieza de la junta o rasqueteo*
- Secado con aire a presión*
- Inserción de la cintilla de Respaldo o Baker-Rod*
- Aplicación del material de sello*

Los equipos requeridos para estas actividades son:

- Tanque de agua con bomba para suministrar agua a presión*
- Compresor para limpieza y aplicación del material de sello*
- Herramientas para limpieza y para insertar el cordón o Baker-rod*
- Bomba de silicón para la aplicación del material de sello*

La bomba de silicón es un equipo de pistón que se introduce dentro del depósito de material de sello.

14. Personal Especializado Necesario

- Jefe de Pavimentación.

Es el responsable de la colocación del concreto y de todas las etapas siguientes en la obra

Responde por todas las actividades ejecutadas en el tramo y en ellas se incluyen las previas al inicio de la pavimentación, como revisión de los datos topográficos, hasta la apertura al tráfico de la vía. Su principal función es coordinar las actividades del equipo de trabajo en el tramo y mantener la comunicación con la planta y con los otros involucrados en el proyecto.

El jefe de pavimentación coordina al grupo de personas que trabajan en equipo y capacitados para las diferentes actividades

- Jefe de Línea.

Responde por la interpretación y evaluación de los datos topográficos entregados por el constructor de la base y por el tendido de la línea guía para la pavimentadora y texturizadora. Su importancia radica en la coordinación con el personal de topografía del proyecto para hacer los

ajustes del trazado requeridos y de esta forma reducir las variaciones en los espesores de la losa.

- Operador de Pavimentadora.

Interactúa continuamente con el operador de planta de concreto, con el coordinador de descarga de camiones y colocación de canastas y con los tornilleros quienes están encargados de vigilar el tránsito normal de los sensores por la línea guía y de la cimbra lateral, su función es de vital importancia, no solo para obtener un buen acabado sino para producir un pavimento de concreto durable y respetar la geometría del proyecto.

- *Jefe de Finishers o Jefe de Terminado.*

Responde por la obtención de un buen acabado superficial de la losa antes de iniciar su texturizado, interactúa con el jefe de pavimentación para que a su vez le dé instrucciones al operador de la pavimentadora en caso de que se presenten problemas en el acabado dejado por la máquina, por problemas en los insertadores de pasajuntas o barras de amarre (en caso de que se utilicen) o por problemas en el acabado del hombre o borde de la losa. El jefe de finishers debe coordinar el personal de herramientas de acabado.

- *Operador de Texturizadora – Curadora*

Se encarga del microtexturizado longitudinal con tela de yute, del texturizado transversal y de la aplicación de la membrana de curado, lo más importante de su trabajo es conocer el momento en el cual debe iniciar su labor, la texturizadora debe ser guiada por el mismo tendido de la línea guía que usó la pavimentadora.

- *Jefe de Corte y Sello.*

El trabajo de corte está a cargo del jefe de corte, el cual se hace acompañar de un grupo de operarios y equipos de corte al igual que un continuo suministro de agua. Este grupo igualmente le reporta al jefe de pavimentación. Sobre esto hay que tener en cuenta que contamos con variables como la dureza de los agregados, la calidad de los discos, la potencia de los equipos y el suficiente suministro de agua.

En las responsabilidades del jefe de corte está el ensanche de la junta, la limpieza y aplicación del sello.

1.3 CIMBRA FIJA

En proyectos de tamaños menores tal como los proyectos denominados urbanos, en donde la producción del concreto se realiza en las plantas dosificadoras que se tienen instaladas en las ciudades, el procedimiento de construcción de pavimentos que continuamente se utiliza es el de cimbra fija, apoyados con rodillos y reglas vibratorias para su ejecución.

El procedimiento constructivo con ambos equipos es prácticamente el mismo y en general es muy parecido al de cimbra deslizante con algunas variantes propiciadas por las diferencias en equipos y por el menor tamaño de las obras.

a) ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO

El concreto se recomienda que sea Premezclado profesionalmente de resistencia a la Flexión S^c ó Módulo de Ruptura igual a la especificada en el proyecto.

El revenimiento apropiado para colocación del concreto con cimbra fija es:

- *En superficies planas con pendientes ligeras 10⁻2cm*
- *En superficies con pendientes mayores al 8% 8⁻1cm*

Es importante garantizar la calidad del concreto y que el suministro sea constante y continuo para mantener la homogeneidad del pavimento, se recomienda que entre el tendido de una olla mezcladora y otra no transcurran más de 25 minutos, aunque de preferencia este tiempo deberá ser menor.

b) CIMBRADO DEL PAVIMENTO

El cimbrado consiste en colocar Montenes metálicos calibre 10 cuyo peralte corresponda con el espesor del pavimento. Estos deberán ser reforzados con soleras @ 30 cm para darle rigidez. La colocación de la cimbra deberá ir siguiendo el alineamiento y niveles que nos indique la brigada de topografía, se sujetan con troqueles de varilla #3 a #5 cuya longitud mínima es igual al doble del espesor del pavimento y se colocan @ 1.0 m aproximadamente. Es conveniente revisar los niveles de la cimbra con topógrafo después de colocada la misma para garantizar un buen perfil longitudinal del pavimento. Se deberá de contar con una cantidad

suficiente de tramos de cimbra para alcanzar avances significativos de colado continuo durante varias jornadas de trabajo.

La cimbra deberá realizarse en franjas previamente establecidas para mantener las condiciones de igualdad superficial entre losa y losa.

c) COLADO DEL PAVIMENTO

El concreto que se mezcla en ollas revolventoras se vacía sobre la sub-base, se esparce a todo lo ancho del pavimento a paleo manual. Deberá limpiarse y humedecerse previamente la superficie que recibe al concreto para evitar que se absorba el agua de la mezcla. Se deberá colocar franjas longitudinales de longitud correspondiente a un día de pavimentación.

Barras de Amarre.- En las juntas que muestre el proyecto y/o en los sitios que indique el Supervisor del proyecto se colocarán barras de amarre, con el propósito de evitar el corrimiento o desplazamiento de las franjas de las losas. Las barras serán corrugadas de acero estructural con un límite de fluencia (Fy) de cuatro mil doscientos (4200) kilogramos por centímetro cuadrado, debiendo quedar ahogadas en las losas a la mitad del espesor y en la posición indicada en el proyecto. Todas las barras corrugadas deberán protegerse contra la corrosión si es que los estudios climatológicos y químicos del lugar demuestran que puede presentarse este fenómeno. Las barras de amarre se colocan en las juntas longitudinales, independientemente de si son juntas frías o de corte, el diámetro, longitud y separación serán los mostrados en el proyecto.

Pasajuntas.- En el caso de que el proyecto considere la colocación de barras pasajuntas en las juntas de contracción transversales, estas se colocarán perfectamente alineadas al sentido longitudinal del pavimento y a la mitad del espesor del mismo. La función de estas barras es la de garantizar una efectiva transferencia de fuerzas cortantes en losas adyacentes, permitiendo el libre movimiento de las franjas de losas en el sentido longitudinal. Las barras serán lisas, de acero estructural con un límite de fluencia (Fy) de cuatro mil doscientos

(4200) kilogramos por centímetro cuadrado, debiendo estar engrasadas en toda su longitud para evitar que se adhieran al concreto. Las barras pasajuntas se colocan en las juntas transversales de contracción cuando así están especificadas y consideradas en el diseño, sin embargo deberán colocarse en todas las juntas transversales de construcción para garantizar la transferencia de cargas entre colados de días distintos.

d) VIBRADO Y PERFILADO

Una vez colocado el concreto se deberá acomodar en las orillas cercanas a la cimbra utilizando un vibrador manual, posteriormente se pasa la regla o el rodillo vibratorio que le dan el vibrado final a la masa del concreto, si en el proyecto se especificaron barras de amarre éstas deberán colocarse inmediatamente antes de que pase la regla ó el rodillo, en los lugares especificados en proyecto, con ayuda de un escantillón para colocarlas exactamente a la mitad del espesor. Después de pasado el rodillo deberá utilizarse una flotadora de aluminio o magnesio en sentido transversal para dar el perfilado definitivo al pavimento.

e) MICROTTEXTURIZADO LONGITUDINAL

El acabado superficial longitudinal del concreto recién colado podrá proporcionarse después de la aplicación de las flotadoras mecánicas, mediante el arrastre de tela de yute húmeda o pasto sintético en sentido longitudinal del pavimento. Este proceso se puede realizar para este tipo de pavimentos de manera muy sencilla y en forma prácticamente manual, se fija perfectamente la tela de yute a un tubo o solera que mida un poco más que el ancho de pavimentación, se humedece y se arrastra en sentido longitudinal con el apoyo de 2 personas, uno a cada lado del pavimento.

F) MACROTEXTURIZADO TRANSVERSAL

Posteriormente se realiza el texturizado transversal mediante un peine que tiene una rastra de alambre en forma de peine, con una separación entre dientes de acuerdo con la especificación del proyecto, con una profundidad entre los 3.0 mm y los 6.0 mm a todo lo ancho de la superficie pavimentada. Esta operación se realizará, cuando el concreto esté lo suficientemente plástico para permitir el texturizado pero lo suficientemente seco para evitar que el concreto fluya hacia los surcos formados por esta operación y que pudieran cerrarse debido a esto perdiendo su funcionalidad.

Durante el tiempo de endurecimiento del concreto, deberá protegerse la superficie de las losas contra acciones accidentales de origen climático, de herramientas y /o del paso de equipo o seres vivos.

G) APLICACIÓN DE MEMBRANA DE CURADO

El curado deberá hacerse inmediatamente después del texturizado transversal cuando el concreto empiece a perder su brillo superficial. Esta condición se efectúa aplicando en la superficie una membrana de curado en la cantidad adecuada para el correcto curado, obteniendo así, un espesor uniforme, que deje una membrana impermeable y consistente y que evite la evaporización del agua que contienen la mezcla de concreto fresco. Su aplicación deberá hacerse preferentemente con aspersores manuales con irrigadores a presión.

El espesor de la membrana se fijará de acuerdo con las características del producto que se utilice y deberá garantizar su integridad, cubrimiento de la losa y cumplimiento de las especificaciones del fabricante de la membrana de curado. Las membranas de curado que se aplican adecuadamente cubren perfectamente toda la superficie del concreto dejando una película de color blanco que minimiza el aumento en la temperatura de la superficie del concreto.

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.

H) FORMACIÓN DE JUNTAS

El concreto durante su etapa de fraguado se contrae y por estar apoyado sobre una superficie fija, se generan esfuerzos de tensión que a su vez producen agrietamientos. La función de realizar juntas de contracción cortadas con disco es para indicarle al concreto la ruta que deben de seguir sus agrietamientos por contracción y evitar que las grietas se propaguen en cualquier dirección.

Las juntas de contracción se realizan con equipo de corte con discos de diamante cuando el concreto tiene un cierto grado de endurecimiento y las contracciones son inferiores a aquellas que causan el agrietamiento (4 a 6 hrs. aproximadamente).

Después del curado de las losas se procederá al corte de las juntas transversales y longitudinales con discos con punta de diamante. Este corte deberá realizarse cuando el concreto presente características de endurecimiento propicias para su ejecución y antes de que se produzcan agrietamientos no controlados. Las juntas de contracción se realizan con equipo de corte con discos de diamante cuando el concreto tiene un cierto grado de endurecimiento y las contracciones son inferiores a aquellas que causan el agrietamiento (4 a 6 hrs. aproximadamente). Las cortadoras utilizadas en este tipo de proyectos deberán ser autopropulsadas y con una potencia que esté entre los 20 HP y los 40 HP. Las juntas deberán ajustarse a las dimensiones y características mostradas en el proyecto.

Los cortes deberán realizarse a una profundidad de un tercio del espesor. No debe cortarse toda la profundidad de la losa ó todo su espesor. Cortar la parte superior le permite que en la parte inferior se genere una grieta que le permite transmitir fuerzas cortantes por la trabazón que existe entre los agregados del concreto entre una losa y otra.

La relación de Largo / Ancho de las losas debe estar entre los límites de 1.0 a 1.4, relaciones mayores originan que se generen grietas en la mitad de las losas.

Debe realizarse un primer corte para garantizar la inducción adecuada de las grietas de contracción, con un ancho de 3 mm. (1/8 de pulgada) utilizando un solo disco de corte y cortando a una profundidad de un tercio del espesor. Posteriormente se deberá hacer el ensanche de las juntas a 6 mm (1/4 de pulgada) utilizando para esto dos discos de corte empalmados y la profundidad de este corte será menor de un tercio del espesor y estará regida por el factor de forma que se le vaya a dar al sellador de las juntas.

1) LIMPIEZA Y SELLO DE JUNTAS

La limpieza de juntas se hará con agua a presión y apoyados con una rastra para dejar perfectamente limpia de material la totalidad de la junta, posteriormente se realizará el secado de la junta con aire a presión, una vez seca la junta y perfectamente libre de polvo en sus paredes, se procederá a colocar una cintilla de respaldo (Backer Rod) cuya función principal es la de minimizar la utilización del sellador e inmediatamente después se coloca el sellador dentro de la junta respetando las indicaciones del fabricante en cuanto a su factor de forma y modo de aplicación.

Es importante que el sellador sea un material autonivelante de un solo componente, elástico, resistente a los efectos de combustibles y aceites automotrices, con propiedades adherentes al concreto y que permita las dilataciones y contracciones que se presenten en las losas, sin agrietarse, debiéndose emplear productos que cumplan con lo anteriormente expuesto, los cuales deberán solidificarse a temperatura ambiente. Es necesario que la superficie del sellador se aloje por debajo de la superficie de rodamiento entre 3 mm. y 6 mm. con el fin de evitar que entre en contacto con los neumáticos de los vehículos y se pueda deteriorar.

La función del sellador es la de evitar que partículas incompresibles (piedras) penetren en la junta y puedan generar despostilladuras en los bordes de las losas debido al movimiento de las mismas. Otra función es la de impedir que el agua de la superficie pueda penetrar a la estructura de soporte y evitar problemas de expulsión de finos, pérdida de soporte y reducción de resistencia del material de sub-base.

1.4 PAVIMENTOS DE CONCRETO ESTAMPADO

a) PRELIMINARES

El Especificador deberá garantizar la calidad de los materiales químicos necesarios para el pavimento estampado.

Las actividades preliminares a la colocación del pavimento estampado tales como el diseño y especificaciones de construcción de la estructura soporte, espesores, niveles, calidades y tipo de concreto hidráulico, espaciamiento y tipo de juntas, etc. Deberá seguirse de acuerdo a las especificaciones generales mencionadas en este manual y deberán responder a las pruebas de control de calidad, de aceptación y supervisión, realizadas por la entidad responsable según los alcances establecidos.

Una vez garantizado lo anterior se podrá proceder a la iniciación de las actividades propias del pavimento estampado. Será conveniente realizar muestras de las figuras, colores y desmoldantes elegidos según la especificación, las cuales se deberán autorizar por el Supervisor para poder proceder con la ejecución.

b) INSTALACIÓN DEL PAVIMENTO ESTAMPADO

1. Aplicación de Colorante - Endurecedor

Asegúrese de que las áreas adyacentes se encuentren protegidas, luego emplee el siguiente procedimiento:

- Vacíe el concreto con el espesor especificado en el proyecto estructural, vibre y garantice su perfecta colocación.
- Utilice las herramientas de terminado adecuadas (llanas de fierro, magnesio y aluminio) y despegue todos los bordes que se pegan a la formaleta con una ribeteadora o volteador.
- Proceda a la apertura de las latas de colorante endurecedor mismas que tienen un peso aproximado de 60 lbs.
- Una vez que el agua ha desaparecido de la superficie es el tiempo preciso para espolvorear el color – endurecedor, la distribución deberá ser de manera uniforme, rápida y eficiente, requiere dos aplicaciones, la primera deslizando la llana en un sentido para iniciar la integración del color en la superficie y la segunda en sentido perpendicular a la anterior para lograr una completa integración del mismo.
- El primer 80% se efectúa después de que el concreto está alisado y uniformizado con la llana, después disperse el otro 20% para cubrir las partes donde la primer aplicación no cubrió lo suficiente. Pase la llana nuevamente esta vez cuidando que la llana pase una sola vez por cada parte de la superficie y deslícela suavemente, en caso contrario se corre el riesgo de perder el color, debiendo emplear más color lo cual va en contra de los rendimientos y trabajo, si hay alguna dificultad en correr la llana para homogeneizar el enlucido con el color; ponga un peso en la llana, esto puede ayudarlo a correr la llana. Nunca utilice agua para integrar el color.

Cuando el concreto está muy blando por exceso de agua, requiere más colorante – endurecedor, pues ésta superficie absorbe el color hasta abajo desapareciéndolo de la superficie. Una vez que el color está en la superficie de la losa, intégrelo lo antes posible. Espere hasta que la losa este en estado plástico y lisa para flotar antes de estampar.

El rendimiento usual de 60 lbs. de colorante – endurecedor es para 9.0 m² de superficie, puede disminuir con algunos colores claros, y otros factores como el

viento u otras condiciones, por lo que se recomienda establecer un monitoreo al consumo.

2. Desmoldante de color (Release)

El desmoldante es un material especialmente formulado, para dar un efecto de contraste con el color – endurecedor y también evita que los moldes o la piel de textura del estampado se adhieran a la superficie del concreto.

- No aplique el desmoldante hasta que el agua de la superficie haya desaparecido.*
- Siempre aplique el desmoldante justo y el necesario para evitar que los moldes se peguen al concreto, se usa aproximadamente una caja de 20 lbs. Por cada 90 m² de superficie.*
- La colocación del desmoldante, debe distribuirse manualmente con un movimiento de remolino.*

Cuando se aplica en forma apropiada, el desmoldante deja una película uniforme, no use excesivo material que deje cúmulos en la superficie. El desmoldante es muy volátil, por lo que es recomendable aplicarlo a la vez, dos filas o líneas de moldes adelante.

3. Equipo y Procedimiento

Es de vital importancia tener tanto el equipo de trabajo que aplica el concreto como conocer el proceso y herramientas para el estampado dado que estas actividades están muy relacionadas entre sí.

- a) Después que se ha tomado la decisión de donde comenzar a aplicar el concreto, se debe de decidir donde comenzar a estampar. Es conveniente que se comience a estampar por el mismo lado por donde se comenzó a aplicar el concreto.*
- b) Coloque el lado abierto de los moldes con la figura de textura hacia la superficie de la losa, luego coloque todos los moldes para el estampado en*

fila a lo ancho de la losa con los lados abiertos coincidiendo con los cerrados.

- c) Siempre revise que los límites de la losa estén a escuadra y en el peor de los casos, fije su propia escuadra.*
- d) Estampe el primer molde, teniendo precaución de obtener un buen estampado y textura en los bordes y en los perímetros.*
- e) Verifique la profundidad del estampado y textura adquirida en la superficie. El desmoldante (Release) muchas veces resalta u oculta visualmente una impresión, para asegurarse de ésta quede viene hecha, cuando retire el molde sopla el desmoldante inicial para observar la calidad de la textura. También puede ocurrir que al retirar el molde se observen áreas húmedas, o donde aparece el color – endurecedor. Ante eso es necesario colocar más desmoldante y volver a colocar el molde.*
- f) Coloque cada molde en forma consecutiva. Tome el último molde y colóquelo justo junto al primero. Recuerde que el primer molde es cuadrado, por lo tanto es vital que el último molde sea puesto junto a este para lograr una perfecta alineación. Asegúrese que el lado cerrado del primer molde mire y esté alineado con el lado abierto del molde siguiente. Siempre debe coincidir negro de un lado, y blanco del otro. Asegúrese también que la altura de los moldes adyacentes sea la misma, de esta manera se asegura una profundidad de impresión pareja.*
- g) Posteriormente tome el último molde y colóquelo alineado junto al siguiente. Regrese al sitio de donde lo sacó, y con la herramienta “S” borre o aplane todos los residuos dejados por las marcas entre los moldes. Asegúrese también que las líneas de textura sean continuas en todos los bordes. En el caso de que la textura o las líneas se pierdan, presione con la “piel de textura” y con la herramienta “S” haga las líneas.*
- h) Continúe el proceso hasta que se hay finalizado de estampar la losa.*

4. Corte de juntas de control

Haga las juntas de control por tipo y espaciamiento, según especificaciones, el tratamiento de juntas en una estructura de pavimento de concreto hidráulico estampado deberá ser idéntico al de una de pavimento de concreto hidráulico convencional.

Considere que en algunos casos en el proceso de colado podrá y deberá colocar elementos de refuerzo especificados, de juntas de control (pasa juntas, y/o barras de amarre).

En juntas frías, es recomendable procurar que estas coincidan con el molde, con el fin de incrementar la calidad del trabajo.

5. Limpieza y sellado de superficie

Después de 24 horas o al día siguiente de colado el elemento estampado puede iniciar el retiro del desmoldante y lavado de superficie.

- a) Lave el exceso de desmoldante y retire el plástico empleado para proteger las estructuras adyacentes.*
- b) Lave toda la superficie con una solución de agua y ácido muriático en proporción 1:10 (diez partes de agua por una de ácido). Escobille bien la superficie, cuidando no retirar el desmoldante de las boquillas, pues se busca una apariencia natural y luego enjuague cuidadosamente con abundante agua.*
- c) Cuide no dejar ningún área oscura que pueda desmerecer el aspecto final del trabajo.*
- d) Pula y afile las líneas de concreto excedente producto del movimiento de moldes. Este trabajo podrá realizarse con esmeril convencional.*
- e) Previa a la aplicación del sellador, con la finalidad de eliminar el polvo que pudiera haber en el piso, es recomendable soplar la superficie con compresor. La manera más eficiente de aplicar el sellador, es hacerlo con rodillo. Asegúrese de que no queden marcas del rodillo, así como de sellar*

la mayor superficie posible de una sola vez con el fin de evitar diferencias visibles en el tono.

- f) Una vez que la superficie esté seca por lo menos 48 hrs., debe aplicarse el sellador transparente (clear seal).*

6. Sellado de juntas de control

Por tratarse de un pavimento de concreto hidráulico, las juntas de expansión y de contracción deberán ser selladas con un producto propio para ese fin para evitar posible debilitación de la estructura de soporte.

Existen productos base silicón los cuales tienen pigmentos similares a los elegidos en el pavimento de concreto. Es recomendable la utilización de éstos en el sello de juntas para conservar la apariencia natural del pavimento estampado.

El sellador deberá ser apoyado sobre una trilla de respaldo la cual tendrá como fin evitar el consumo excesivo de sellador y evitar que éste trabaje inadecuadamente.

CAPÍTULO 2

CONSTRUCCIÓN DE JUNTAS

El diseño de juntas en los pavimentos de concreto es el responsable del control del agrietamiento, así como de mantener la capacidad estructural del pavimento y su calidad de servicio es los más altos niveles al menor costo anual.

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

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

Una construcción adecuada y a tiempo, así como un diseño apropiado de las juntas incluyendo un efectivo sellado, son elementos claves para el buen comportamiento del sistema de juntas.

2.1 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES

“Para la elaboración de un pavimento de concreto hidráulico es primordial contar con materiales de la más alta calidad que garanticen su durabilidad y perfecto funcionamiento.”

a) CEMENTO

El cemento a utilizar para la elaboración del concreto será preferentemente Portland, de marca aprobada oficialmente, el cual deberá cumplir lo especificado en las normas NMX-C-414-1999-ONNCCE. Si los documentos del proyecto o una especificación particular no señalan algo diferente, se emplearán los denominados CPO (Cemento Portland Ordinario) y CPP (Cemento Portland Puzolánico) dependiendo del caso y con sub-clasificaciones 30R, 40 y 40R. Estos cementos corresponden principalmente a los que anteriormente se denominaban como Tipo I y Tipo IP.

Es importante que se cumplan respectivamente con los requisitos físicos y químicos que se señalan en las cláusulas 4.01.02.004-B y 4.01.02.004-C de las

Normas de Calidad de los Materiales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

El cemento en sacos se deberá almacenar en sitios secos y aislados del suelo, en acopios de no más de siete metros (7m) de altura.

Si el cemento se suministra a granel, se deberá almacenar en sitios aislados de la humedad. La capacidad mínima de almacenamiento deberá ser la suficiente para el consumo de un día o una jornada de producción normal.

Todo cemento que tenga más de dos (2) meses de almacenamiento en sacos o tres (3) en silos, deberá ser examinado por el Supervisor del proyecto, para verificar si aún es susceptible de utilización.

b) AGUA

El agua que se emplee en la fabricación del concreto deberá cumplir con la norma NMX-C-122, debe ser potable, y por lo tanto, estar libre de materiales perjudiciales tales como aceites, grasa materia orgánica, etc. En general, se considera adecuada el agua que sea apta para el consumo humano. Así mismo, no deberá contener cantidades mayores de las sustancias químicas que las que se indican en la siguiente tabla, en partes por millón:

Tabla 2.1.1

Sustancias Perjudiciales en el agua

Sustancias Perjudiciales	Ppm Máximo
Sulfatos (convertidos a Na ₂ SO ₄)	1000
Cloruros (convertidos a NaCl)	1000
Materia Orgánica (óxido consumido en medio ácido)	50
Turbiedad y/o lignito	1500

El pH, medido según norma ASTM D-1293, no podrá ser inferior a cinco (5).

El contenido de sulfatos, expresado como SO₄=, no podrá ser mayor de un gramo por litro (1g/l). Su determinación se hará de acuerdo con la norma ASTM D-516.

Su contenido de ión cloro, determinado según norma ASTM D-512, no podrá exceder de seis gramos por litro (6g/l).

c) MATERIALES PÉTREOS

Estos materiales se sujetarán al tratamiento o tratamientos necesarios para cumplir con los requisitos de calidad que se indican en cada caso, debiendo el contratista prever las características en el almacén y los tratamientos necesarios para su ulterior utilización. El manejo y/o almacenamiento subsecuente de los agregados, deberá hacerse de tal manera que se eviten segregaciones o contaminaciones con sustancias u otros materiales perjudiciales y de que se mantenga una condición de humedad uniforme, antes de ser utilizados en la mezcla.

1. Grava

El agregado grueso será grava triturada totalmente con tamaño máximo de treinta y ocho (38) milímetros, resistencia superior a la resistencia del concreto señalada en el proyecto, y con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

Tabla 2.1.2

Granulometría de la Grava

Malla		% que pasa
2"	50.00 mm	100
1 1/2"	37.50 mm	95 - 100
3/4"	19.00 mm	35 - 70
3/8"	9.50 mm	10 - 30
No. 4	4.75 mm	0 - 5

El contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso no deberá exceder los porcentajes máximos que se indican en la siguiente tabla:

Tabla 2.1.3

Sustancias Perjudiciales en Grava

Sustancias Perjudiciales	%
Partículas Deleznable	0.25
Partículas Suaves	5.00
Pedernal como impureza	1.00
Carbón mineral y/o lignito	1.00

El agregado grueso además, deberá cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

- Desgaste “Los Ángeles” 40% máximo
- Intemperismo Acelerado 12% máximo (utilizando sulfato de sodio)

Cuando la muestra esté constituida por material heterogéneo y se tengan dudas de su calidad, el Especificador podrá ordenar se efectúen pruebas de desgaste de los Ángeles, separando el material sano del material alterado o de diferente origen, así como pruebas en la muestra constituida por ambos materiales, en las que estén representados en la misma proporción en que se encuentren en los almacenamientos de agregados ya tratados o en donde vayan a ser utilizados. En ninguno de los casos mencionados se deberán obtener desgastes mayores que cuarenta por ciento (40%).

En el caso de que se tengan dudas acerca de la calidad del agregado grueso, a juicio del Supervisor se llevará a cabo la determinación de la pérdida por intemperismo acelerado, la cual no deberá ser mayor de doce por ciento (12%), en el entendido que el cumplimiento de esta característica no excluye las mencionadas anteriormente.

2. Arena

El agregado fino o arena deberá tener un tamaño máximo de nueve punto cincuenta y un milímetros (9.51 mm.) con la secuencia granulométrica que se indica a continuación:

Tabla 2.1.4

Granulometría de la Arena

Malla		% que pasa
3/8"	9.50 mm	100
No. 4	4.75 mm	95 - 100
No. 8	2.36 mm	80 - 100
No. 16	1.18 mm	50 - 85
No. 30	600 µm	25 - 60

Tabla 2.1.5

Ajuste granulométrico de la Arena

Límite líquido	Índice de Plástico	Material máximo Permisible en masa Que pasa por la criba 0.75 No. 200) en porcentaje
Hasta 25	Hasta 5	18.0
Hasta 25	5 - 10	16.0
Hasta 25	10 - 5	6.0
Hasta 25	15 - 20	4.0
Hasta 25	20 - 25	1.0
25 - 35	Hasta 5	16.0
25 - 35	5 - 10	14.0
25 - 35	10 - 5	11.0
25 - 35	15 - 20	8.0
25 - 35	20 - 25	1.0
34 - 45	Hasta 5	15.0
34 - 45	5 - 10	9.0
34 - 45	10 - 5	6.0
34 - 45	15 - 20	2.0
34 - 45	20 - 25	1.0
45 - 55	Hasta 5	9.0
45 - 55	5 - 10	8.0
45 - 55	10 - 5	5.0
45 - 55	15 - 20	4.0
45 - 55	20 - 25	1.0

El contenido de sustancias perjudiciales en la arena, no deberá exceder los porcentajes máximos siguientes:

Tabla 2.1.6

Sustancias Perjudiciales de la Arena

Sustancias Perjudiciales	% máximo
Partículas Deleznables	1.00
Carbón mineral y/o lignito	1.00

En el caso de que se tengan dudas acerca de la calidad del agregado fino, a juicio de la Secretaría se llevará a cabo la determinación de la pérdida por intemperismo

acelerado, la cual no deberá ser mayor de 10%, en el entendido de que esta condición no excluye las mencionadas anteriormente.

3. Reactividad

Deberá verificarse mediante análisis petrográficos y/o la prueba química rápida que los agregados (grueso y fino) para la elaboración de la mezcla de concreto no sean potencialmente reactivos.

1. ADITIVOS

Deberán emplearse aditivos del tipo “D” reductores de agua y retardantes con la dosificación requerida para que la manejabilidad de la mezcla permanezca durante dos (2) horas a partir de la finalización del mezclado a la temperatura estándar de veintitrés grados centígrados (23°C) y no se produzca el fraguado después de cuatro (4) horas a partir de la finalización del mezclado. Los aditivos deberán ser certificados por la casa productora. Para asegurar la trabajabilidad de la mezcla, también se utilizará un agente inclusor de aire, con los requisitos que señala la norma ASTM C 260.

Estos aditivos se transportarán desde la fábrica hasta la planta de concreto en camiones cisternas y se depositarán en tanques especialmente diseñados para su almacenamiento y dosificación.

2. CONCRETO

El diseño de la mezcla utilizando los agregados provenientes de los bancos ya tratados, será responsabilidad del productor de concreto quien tiene la obligación de obtener la resistencia y todas las demás características adecuadas para lograr los acabados del pavimento. Durante la construcción, la dosificación de la mezcla

de concreto hidráulico se hará en peso y su control durante la elaboración se hará en peso y su control durante la elaboración de hará bajo la responsabilidad exclusiva del Proveedor, es conveniente que el suministro se realice por proveedores profesionales de concreto.

1. Resistencia

La resistencia de diseño especificada a la tensión por flexión (S'c) o Módulo de Ruptura (MR) a los 28 días, se verificará en especímenes moldeados durante el colado del concreto, correspondientes a vigas estándar de quince por quince por cincuenta (15x15x50) centímetros, compactando el concreto por vibrocompresión y una vez curados adecuadamente, se ensayarán a los 3, 7 y 28 días aplicando la cargas en los tercios del claro (AST C78).

Especímenes de prueba

Se deberán tomar muestras de concreto para hacer especímenes de prueba para determinar la resistencia a la flexión durante el colado del concreto. Especímenes de prueba adicionales podrán ser necesarios para determinar adecuadamente la resistencia del concreto cuando la resistencia del mismo a temprana edad, limite la apertura del pavimento al tránsito. El procedimiento seguido para el muestreo del concreto deberá cumplir con la norma (ASTM C 172).

La frecuencia de muestreo será de 6 especímenes para prueba de módulo de ruptura y 3 especímenes más para determinar el módulo elástico y resistencia a la compresión por cada 150 m³ de producción de concreto. En el caso de la determinación del módulo de ruptura, se ensayarán dos especímenes a los 3 y 7 días de colado y los otros dos restantes a los 28 días, en el caso de la determinación del módulo de elasticidad, resistencia a la compresión, se ensayará un espécimen por cada prueba a los 3 y 7 días de colado, y el restante a los 28 días de transcurrido el colado.

La apertura del tránsito vehicular del pavimento no podrá realizarse antes de que el concreto haya alcanzado una resistencia a la tensión por flexión o por Módulo

de Ruptura del setenta y cinco por ciento (75%) de la especificada de proyecto como mínimo. En caso de ser necesario, con ayuda de un consultor capacitado, se podrán revisar los esfuerzos actuantes a los que estará sometido el pavimento y se permitirá abrir el tráfico cuando la relación entre esfuerzo actuante entre resistente sea de 0.5.

Tabla 2.1.7

Resistencia de Concreto Recomendada

Tipo de Proyecto	MR (kg/cm²)
Autopistas y Carreteras	48.00
Zonas Industriales y Urbanos Principales	45.00
Urbanos Secundarios	42.00

2. Trabajabilidad

El revenimiento promedio de la mezcla de concreto deberá especificarse de acuerdo con el procedimiento de colocación a utilizar:

- *Para tendido con Cimbra Deslizante deberá ser de cinco centímetros (5 cm) más-menos uno punto cinco centímetros (1.5 cm) al momento de su colocación.*
- *Para colados con Cimbra Fija deberá ser de diez centímetros (10 cm) más-menos dos centímetros (2 cm) al momento de su colocación.*

Las mezclas que no cumplan con este requisito deberán ser destinadas a otras obras de concreto como cunetas y drenajes, y no se permitirá su colocación para la losa de concreto.

El concreto deberá ser uniformemente plástico, cohesivo y manejable. El concreto trabajable es definido como aquel que puede ser colocado sin que se produzcan demasiados vacíos en su interior y en la superficie del pavimento, así como el que no presente una apariencia pastosa.

Cuando aparezca agua en la superficie del concreto en cantidades excesivas después del acabado se deberá efectuar inmediatamente una corrección por medio de una o más de las siguientes medidas:

- a) *Rediseño de la mezcla*
- b) *Adición de relleno mineral o de agregados finos*
- c) *Incremento del contenido de cemento*
- d) *Uso de un aditivo incluso de aire o equivalente previamente aprobado*

3. *MEMBRANA DE CURADO*

Para el curado de la superficie del concreto recién colada deberá emplearse una Membrana de Curado de emulsión en agua y base parafina de color claro, el que deberá cumplir con los requisitos de calidad que se describen en las normas ASTM C171, ASTM C309, Tipo 2, Clase A, AASHTO M148, Tipo 2, Clase A, FAA Ítem P-610-210. Este tipo de membranas evitan que se tapen las espreas de los equipos de rociado.

Deberá aplicarse apropiadamente para proveer un sello impermeable que optimiza la retención del agua de la mezcla. El pigmento blanco refleja los rayos solares ayudando a mantener la superficie más fresca y prevenir la acumulación de calor.

4. *ACERO DE REFUERZO*

El acero de refuerzo necesario para la construcción del pavimento se utiliza en las juntas, ya sea como pasadores de cortante o pasajuntas o como barras de amarre para mantener los cuerpos del pavimento unidos.

1. *Barras de amarre*

En las juntas que muestre el proyecto y/o en los sitios que indique el Especificador del proyecto, se colocarán barras de amarre con el propósito de evitar el corrimiento o desplazamiento de las losas en el sentido perpendicular al de circulación. Las barras de amarre serán de varilla corrugada, de acero estructural, con límite de fluencia (f_y) de cuatro mil doscientos kilogramos por centímetro cuadrado ($4,200 \text{ kg/cm}^2$), debiendo quedar ahogadas en las losas, con las dimensiones y en la posición indicada en el proyecto. Estas barras siempre deberán estar colocadas a la mitad del espesor del pavimento.

2. Barras Pasajuntas

En las juntas transversales de contracción, en las juntas de construcción, en las juntas de emergencia y/o en los sitios que indique el Supervisor del proyecto se colocarán barras pasajuntas como mecanismos para garantizar la transferencia efectiva de carga entre las losas adyacentes. Las barras serán de acero redondo liso y deberán quedar ahogadas en las losas en la posición y con las dimensiones indicadas por el proyecto.

Estas barras deberán estar perfectamente alineadas con el sentido longitudinal del pavimento y con su plano horizontal, colocándose a la mitad del espesor de la losa. Ambos extremos de las pasajuntas deberán ser lisos y estar libres de rebabas cortantes. El acero deberá cumplir con la norma ASTM A 615 Grado 60 ($f_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$), y deberá ser recubierta con asfalto, parafina, grasa o cualquier otro medio que impida efectivamente la adherencia del acero con el concreto y que sea aprobado por el Especificador del proyecto.

Las pasajuntas podrán ser instaladas en la posición indicada en el proyecto por medios mecánicos, o bien por medio de la instalación de canastas metálicas de sujeción. Las canastas de sujeción deberán asegurar las pasajuntas en la posición correcta como se indica en el proyecto durante el colado y acabado del concreto, mas no deberán impedir el movimiento longitudinal de la misma.

5. SELLADOR PARA JUNTAS

El material sellante para las juntas transversales y longitudinales deberá ser elástico, resistente a los efectos de combustibles y aceites automotrices, con propiedades adherentes con el concreto y que permita las dilataciones y contracciones que se presenten en las losas de concreto sin degradarse, debiéndose emplear productos a base de silicona, poliuretano-asfalto o similares, las cuales deberán ser autonivelantes, de un solo componente y solidificarse a temperatura ambiente.

A menos de que se especifique lo contrario, el material para el sellado de juntas deberá de cumplir con los requerimientos aquí indicados. El material se deberá adherir a los lados de la junta o grieta con el concreto y deberá formar un sello efectivo contra la filtración de agua o incrustación de materiales incompresibles. En ningún caso se podrá emplear algún material sellador no autorizado por el Especificador.

Para todas las juntas de la losa de concreto se deberá emplear un sellador de silicón o similar de bajo módulo autonivelable. Este sellador deberá ser un compuesto de un solo componente sin requerir la adición de un catalizador para su curado. El sellador deberá presentar fluidez suficiente para autonivelarse y no requerir de formado adicional, adicionalmente se deberá colocar respetando el factor de forma (altura de silicón/ ancho del silicón en el depósito) mismo que deberá proporcionar o recomendar el fabricante del sellador.

El sellador de silicón de bajo módulo deberá cumplir con los siguientes requisitos y especificaciones de calidad:

La tirilla de respaldo a emplear deberá impedir efectivamente la adhesión del sellador a la superficie inferior de la junta. La tirilla de respaldo deberá ser de espuma de polietileno y de las dimensiones indicadas en los documentos de construcción. La tirilla de respaldo deberá ser compatible con el sellador de silicón a emplear y no se deberá presentar adhesión alguna entre el silicón y la tirilla de respaldo.

Tabla 2.1.8

Especificaciones del Silicón

Especificaciones	Método de Ensaye	Requisito
-Esfuerzo de tensión a 150% de elongación (7 días de curado a 25°C ±5°C y 45% a 55% de Humedad relativa).	ASTM D 412	3.2 kg/cm2 máximo
-Flujo a 25°C±5°C.	ASTM C 639 (15% Canal A)	No deberá fluir del canal
-Tasa de extrusión a 25°C±5°C.	ASTM C 603 (1/8"50 psi A)	5-250 gms/min

-Gravedad Específica.	ASTM D 792 (método A)	1.01 a 1.51
-Dureza a -18°C (7 días de curado a 25°C ±5°C).	ASTM C 661	10 a 25
-Resistencia al intemperismo después de 5,000 horas de exposición continua.	ASTM C 793	No agrietamiento, pérdida de adherencia o superficies polvosas por desintegración.
-Superficie seca a 25°C±5°C, y 45% a 55% de humedad relativa.	ASTM C 679	Menor de 75 minutos.
-Elongación después de 21 días de curado a 25°C±5°C, y 45% a 55% de humedad relativa	ASTM D 412	1,200%
-Fraguado al tacto a 25°C±5°C, y 45% a 55% de humedad relative.	ASTM C 1640	Menos de 75 minutos
-Vida en el contenedor a partir del día de embarque.		6 meses mínimo
-Adhesión de bloques de mortero.	AASHTO T 132	3.5 Kg/cm2
-Capacidad de movimiento Y adhesión. Extensión de 100% a 18°C después de 7 días de curado al aire a a 25°C±5°C, seguido por 7 días en agua a 25°C±5°C	ASTM C 719	Ninguna falla por adhesión o cohesión después de 5 ciclos

2.2 HERRAMIENTAS

A continuación se recomiendan las herramientas que se utilizan en la construcción de pavimentos de concretos.

a) FLOTAS DE MAGNESIO

La finalidad para la cual se usa el flotado es de abrir poros en el concreto recién colado y sacar el agua hacia la superficie con el objeto de dar un mejor acabado al pavimento de concreto. Se pueden encontrar en dos formas con ángulos a 90° ó con ángulos redondeados para evitar que se clave en el concreto.

Esquinas Cuadradas

Tamaño

42" X 8"

Esquinas Cuadradas y Redondeadas

Tamaño

48" X 8"

b) FLOTAS DE MAGNESIO TIPO CANAL

La finalidad es la misma nada más que da una mayor estabilidad que permite dar un acabado de excelente calidad en los pavimentos

Tamaño

6' ahusado

6' con inserto

12'

c) LLANAS TIPO FRESNO

Su cabezal giratorio de 360° le da una flexibilidad de trabajar en cualquier ángulo

Esquinas Cuadradas y Redondeadas

Tamaño

30" X 5"

48" X 5"

d) CABEZAL EZY-TILT PARA FLOTADORA Y LLANAS CON EXTENSIÓN

Elimina tener que levantar y bajar la extensión para cambiar el ángulo de ataque de la flotadora o llana sobre el concreto, controlando dicho ángulo sólo con un giro en el tubo de extensión. Acepta entrada de 1" – 3/4" y 3/8".

e) *JALADORES DE CONCRETO*

La función de esta herramienta es distribuir el concreto de manera más fácil y rápida que utilizando una pala *cuando se cuele la losa de concreto*.

<i>Tamaño</i>	<i>Calibre</i>
20" X 4"	14
20" X 4"	12

f) *CEPILLO DE MICROTEXTURIZADO LONGITUDINAL*

El cepillo de microtexturizado longitudinal es una herramienta de cerdas que da una textura adecuada para lograr una superficie friccionante a la losa de concreto.

g) *CEPILLO TEXTURIZADOR DE ALAMBRE TRANSVERSAL*

El cepillo de texturizador de alambre es una herramienta que da una textura rugosa a la losa de concreto para proporcionar una mayor tracción. Estos cepillos se fabrican con dos diferentes espaciamientos, de 1/2" y 3/4".

Tamaño

36"

48"

60"

Alambres de repuesto

h) *CEPILLO TEXTURIZADOR DE CERDAS*

Da la textura tipo cepillado al concreto inmediatamente después del flotado.

i) REGLAS DE MAGNESIO

Se usan para rellenar las juntas frías de inicio y terminación del pavimento.

Sección Transversal

<i>1" x 4"</i>	<i>2" x 4"</i>	<i>2" x 5"</i>
<i>Tamaño</i>	<i>Tamaño</i>	<i>Tamaño</i>
<i>6'</i>	<i>10'</i>	<i>16'</i>
<i>8'</i>	<i>12'</i>	<i>20'</i>
	<i>14'</i>	<i>24'</i>

j) EQUIPO PARA ASPERSIÓN

Estos se usan para aplicar compuestos de curado y membranas. Con las siguientes características:

- Bomba de latón sólido, 24" de extensión y boquilla de ½ galón por minuto, manguera de 1.21 mts. de longitud.*
- Cabeza de abertura de 4.5" para permitir el rápido llenado y limpieza.*

k) TEXTURIZADOR DE YUTE

Esta herramienta se utiliza para dar el texturizado longitudinal al concreto inmediatamente después del flotado. Esta herramienta se usa en pavimentos urbanos.

Para la construcción con las nuevas tecnologías de los pavimentos de concreto hidráulico se requieren una serie de equipos especializados para lograr una calidad adecuada en el proceso.

Estos equipos los podemos enlistar de la siguiente manera:

- *Plantas de concreto de Mezclado Central.*
- *Plantas Dosificadoras de Concreto.*
- *Estaciones Ambientales Portátiles.*
- *Equipos de transporte de Concreto.*
 - *Camiones de Volteo*
 - *Camiones tipo “Flow-Boy”*
 - *Camiones Revolvedores*
- *Pavimentadoras de Cimbra Deslizante.*
 - *Carreteras*
 - *Urbanos*
- *Texturizadora – Curadora.*
- *Equipos de Pavimentación de Cimbra Fija.*
- *Cortadoras de Concreto Fresco.*
- *Bomba de Silicón.*
- *Perfilógrafo Computarizado.*
- *Medidores de Fricción.*

2.3 EQUIPOS

a) PLANTAS DE MEZCLADO CENTRAL

Las plantas de Mezclado Central son plantas que permiten la elaboración de concreto con altos rendimientos y capacidades de producción. Las especificaciones y características generales de este tipo de plantas son las siguientes:

- *Producción promedio de 150 m³/hr a 250 m³/hr.*
- *Capacidad de almacenamiento en silos de 500 a 800 ton.*
- *Móviles (opcional).*
- *Automatizadas y computarizadas.*
- *Potencia requerida de 120 HP.*
- *Con caseta de control con temperatura controlada.*
- *Con sistema automático de Bachadas Múltiples.*
- *Con tambores mezcladores de 10 a 12 yds cúbicas.*
- *Con capacidad de manejar 2 o 3 tipos de agregados.*
- *Con sistema colector de polvos.*
- *Tiempos de mezclado por bachada de 60 a 90 seg.*
- *Sistema de básculas de precisión.*
- *Con sistema automático de corrección de humedad.*
- *Con sistema de generación de energía propio.*
- *Con cargadores frontales para alimentación de agregados.*
- *Depósito de almacenamiento de agua.*
- *Depósitos para almacenamientos de aditivos.*
- *Con báscula para pesado de materiales y concreto (opcional).*

b) PLANTAS DOSIFICADORAS DE CONCRETO

Las plantas dosificadoras de concreto, permiten tener un control adecuado de las cantidades de materiales que se van a utilizar para la mezcla, sin embargo estas plantas no realizan el mezclado del concreto, sino que se apoyan en camiones revoladores que son los que hacen el mezclado de los materiales convirtiéndolos en concreto.

Las especificaciones y características generales de este tipo de plantas son las siguientes:

- *Producción promedio de 30 m³/ hr a 70 m³/ hr.*
- *Capacidad de almacenamiento en silos de 60 a 150 ton.*

- *Computarizadas.*
- *Con caseta de control.*
- *Móviles (opcional).*
- *De fácil y rápida instalación y desmontaje.*
- *Con capacidad de manejar 2 a 3 tipos de agregados.*
- *Tiempos de mezclado por bachada de 60 a 90 seg.*
- *Con capacidad de carga en 1 o 2 ciclos.*
- *Con sistema de generación de energía propio.*
- *Con cargadores frontales para alimentación de agregados.*
- *Depósito de almacenamiento de agua.*
- *Depósitos para almacenamientos de aditivos.*

c) *ESTACIONES AMBIENTALES PORTÁTIL*

Las estaciones ambientales son necesarias para controlar el buen comportamiento de la mezcla de concreto a edades tempranas, sobretodo en climas donde la humedad es baja y los vientos y el calor alto.

Los aspectos relevantes de las estaciones ambientales son:

- *Que sea portátil.*
- *Que permita medir las condiciones climáticas.*
 - *Temperatura*
 - *Humedad*
 - *Velocidad del viento, etc.*
- *Calcule y pueda monitorear la tasa de evaporación del agua del concreto.*
- *Mantenga control de los problemas por contracción del concreto.*
- *Conectividad a una computadora.*
- *Software de cálculo apropiado.*
- *Completamente automatizada.*
- *Con sistemas de alarmas durante el colado.*

d) EQUIPOS DE TRANSPORTE DE CONCRETO

Dependiendo del tipo de planta a utilizar se podrán utilizar diferentes tipos de transporte para el concreto, sin embargo en el caso de las plantas dosificadoras únicamente se podrán utilizar los camiones revolvedores.

1. Camiones de Volteo

- *Chasis – Cabina 6x4 (opcional).*
 - *Distancia entre ejes 5.54 m*
 - *Ancho total 2.46 m*
 - *Altura total 3.02 m*
 - *Longitud 8.38 m*
- *Peso vehicular bruto 29.9 Ton.*
- *Peso vehicular 8.4 Ton.*
- *Motor de 305 HP a 335 HP a 2,100 rpm.*
- *Frenos dos posiciones.*
- *Sistema de enfriamiento con agua.*
- *Transmisión de 9 a 10 velocidades.*
- *Tanque de combustible 379 lts.*
- *Sistema de encendido eléctrico.*
- *Eje delantero sencillo.*
- *Eje trasero tándem.*
- *Capacidad 14 m³.*

2. Camiones tipo “Flow – Boy”

- *Dimensiones aproximadas:*
 - *Distancia entre ejes 7.9 m*
 - *Ancho total 2.43 m*
 - *Altura total 3.12 m*
 - *Longitud 9.40 m*
- *Peso vehicular 7.2 Ton.*

- *Sistema de aislamiento de la caja.*
- *Tapa trasera especial para concreto.*
- *Banda transportadora de carga horizontal.*
- *Sección transversal de la caja trapezoidal (60°).*
- *Adaptable a diferentes tipos de cabinas.*
- *Diferentes configuraciones de ejes.*
- *Posibilidad de levantar uno o varios ejes (opcional).*
- *Capacidad 15 m³.*
 - *Camiones revolventes*

e) PAVIMENTADORAS DE CIMBRA DESLIZANTE

Existen en el mercado diferentes tipos de pavimentadoras de cimbra deslizante y diferentes proveedores dentro de estas especificaciones mostraremos las pavimentadoras que se diferencian por su tamaño y habilidades, así como las que se utilizan normalmente en proyectos carreteros y urbanos, sin que ello signifique que no puedan utilizarse indistintamente.

1. Pavimentadoras de Carreteras

Pavimentadora de 4 Tracks

(Tipo SF – 550 con DBI)

- *Apoyada en 4 orugas.*
- *Motor de 400 HP a 2,100 rpm.*
- *Transmisión hidráulica hacía adelante y atrás.*
- *Velocidad de pavimentación hasta 9.14 metros por minuto.*
- *Velocidad de transportación hasta 18.3 metros por minuto.*
- *Dirigida por sensores.*
- *Ancho de pavimentación variable de 5.5 m. hasta 15.2 m.*

- *Espesor máximo de pavimento 61.0 cm.*
- *Altura de pavimentadora 4.42 m.*
- *Sistema hidráulico.*
- *Operación manual o automática.*
- *Con insertador de barras de amarre (opcional).*
- *Con sistema automático de inserción de pasajuntas.*
- *Con grúa para el manejo de paquetes de pasajuntas.*
- *Con gusano frontal para movilización de cargas de concreto.*
- *Con vibradores de inmersión 10,000 rpm.*
- *Ajustable a pendiente transversal en uno o dos sentidos.*
- *Con flotadora oscilante final.*
- *Peso aproximado 65.5 Ton.*
- *Tanque de combustible de 700 lts.*
- *Tanque de aceite hidráulico 250 lts.*
- *Aceite de motor 34 lts.*
- *Anticongelante del motor 76 lts.*
- *Dimensiones durante el transporte*
 - *Ancho 3.15 m*
 - *Largo 22.2 m*
 - *Altura 2.96 m*
- *El Insertador de Barras Pasajuntas DBI por sus siglas en inglés (“Dowel Bar Inserter”) es la parte de la pavimentadora que se encarga de alimentar, depositar e insertar las barras de las juntas transversal en el concreto y está compuesto de un alimentador y un insertador accionados por un controlador electrónico con “PLC”. Para accionar el DBI deberán encenderse los interruptores de la caja principal del DBI, del alimentador de barras y del insertador. Este equipo se puede trabajar en dos modalidades: automático y manual.*

Funcionamiento automático:

El ciclo inicial al recibir la señal del “mark joint” (la cual puede estar programada con el sensor de velocidad o puede ser detectada por marcas a lo largo del tendido), en éste momento son descargadas las barras sobre el concreto

Cuando la máquina se desplaza y el insertador queda colocado sobre las barras el “PLC” envía la señal para que el insertador baje, en ese momento la válvula de alivio de desplazamiento longitudinal es accionada para que el insertador se detenga.

En su recorrido descendente el insertador acciona el interruptor de los vibradores para facilitar la inserción.

EL insertador baja la posición que previamente fue ajustada en los interruptores límites inferiores. En ése momento es accionada la válvula hidráulica que sube el insertador.

En su recorrido ascendente el insertador acciona el interruptor que detiene los vibradores.

El insertador se desplaza hasta la parte superior accionando los interruptores límite superiores y la válvula de desplazamiento longitudinal que regresa el insertador a su posición original.

Mientras que el insertador hace su trabajo, el alimentador realiza un ciclo alimentando un juego de barras para una junta.

Funcionamiento manual:

Todos los paso anteriores se pueden realizar de manera manual colocando los interruptores de “MANUAL – AUTO” en posición manual y accionando los interruptores para cada función.

El insertador DBI es el encargado de insertar las varillas que sustituyen a las canastas usadas en otros modelos de pavimentadoras.

La secuencia de operación es como sigue:

- Se detecta “mark joint” en la línea que corre al centro del alimentador de varillas. Se depositan el número de barras sobre la superficie del concreto, en este caso 40 piezas.
- La máquina sigue avanzando hasta que el insertador queda sobre las varillas.
- Se accionan los cilindros que bajan el insertador y este desciende hasta que es detectado por ambos sensores de posición “baja” del insertador. Al momento de empezar a bajar el insertador se encienden también los vibradores del insertador y se liberan los cilindros de recuperación del insertador.
- Se accionan los cilindros para subir el insertador hasta que es detectado por ambos sensores de posición de “alta”. En ese momento se apagan los vibradores y se accionan los cilindros de recuperación para regresar el insertador a su posición de origen, contrarrestando el deslizamiento que haya habido al insertar.
- Al tiempo que se descargan las varillas (paso 1) se arranca el alimentador nuevamente si es que éste está en automático, para que cargue las siguientes 40 barras. Cada barra se detecta y cuenta por medio del sensor de conteo.

Nota. - Los pasos anteriores se realizan en cada “mark joint”.

Ventajas que presenta la Pavimentadora con DBI

- Se minimizan desperdicios de material, como se tiene en el caso en el que se utilizan las canastillas, que al momento que se transportan o manejan se deforman o se desoldan y en ocasiones se descuadran.
- Debido a su sistema de incado, se asegura el movimiento longitudinal libre de la barra durante su funcionamiento, a diferencia de cuando está soldada en un extremo de la canasta que queda embebida en el concreto e impide de cierta manera dichos movimientos.

- *Se tiene mejor distribución del concreto al frente de la máquina, ya que el sistema permite tener libertad de colocar el concreto según las necesidades del proceso ya que los camiones pueden circular libremente al frente de la pavimentadora dado que no hay canastillas colocadas que se lo impidan, haciendo más productivo el proceso.*
- *Se elimina el impacto del concreto sobre canastillas al momento de la descarga, que en ocasiones doblan las canastillas, que se tienen que cambiar en el mismo momento perdiendo tiempo y rendimientos importantes.*
- *En la pavimentadora con DBI se pueden bajar los vibradores de inmersión sin tener la limitante de las canastillas obteniendo un mejor vibrado en el concreto, además que la pavimentadora con DBI cuenta con una barra de cilindros vibratorios que le dan al concreto un segundo vibrado superficial mejorando así la resistencia y acabado del concreto.*

Pavimentadora de 4 Tracks (Tipo SF-450 ó SF-6004)

- *Apoyada en 4 orugas.*
- *Motor de 325 HP a 2,100 rpm.*
- *Transmisión hidráulica hacía adelante y atrás.*
- *Velocidad de pavimentación hasta 9.14 metros por minuto.*
- *Velocidad de transportación hasta 18.3 metros por minuto.*
- *Dirigida por sensores.*
- *Ancho de pavimentación variable de 3.5 m. hasta 12.0 m.*
- *Espesor máximo de pavimento 61.0 cm.*
- *Altura de pavimentadora 3.89 m.*
- *Sistema hidráulico.*
- *Operación manual ó automática.*
- *Con insertador de barras de amarre (opcional).*
- *Con gusano frontal para movilización de cargas de concreto.*
- *Con vibradores de inmersión 10,000 rpm.*
- *Ajustable a pendiente transversal en uno o dos sentidos.*

- *Con flotadora oscilante final.*
- *Peso aproximado 54.5 Ton.*
- *Tanque de combustible de 700 lts.*
- *Tanque de aceite hidráulico 238 lts.*
- *Aceite de motor 34 lts.*
- *Anticongelante del motor 83 lts.*
- *Dimensiones durante el transporte*
 - *Ancho 3.05 m*
 - *Largo 15.4 m*
 - *Altura 3.2 m*

Pavimentadora de 2 Tracks (Tipo SF-350)

- *Apoyada en 2 orugas.*
- *Motor de 175 HP y 128 KW a 2,800 rpm.*
- *Transmisión hidráulica hacía adelante y atrás.*
- *Velocidad de pavimentación hasta 13.7 metros por minuto.*
- *Velocidad de transportación hasta 25.9 metros por minuto.*
- *Dirigida por sensores.*
- *Ancho de pavimentación variable de 3.5 m. hasta 9.0 m.*
- *Espesor máximo de pavimento 40.0 cm.*
- *Altura de pavimentadora 3.53 m.*
- *Sistema hidráulico.*
- *Operación manual ó automática.*
- *Con insertador de barras de amarre (opcional).*
- *Con gusano frontal para movilización de cargas de concreto.*
- *Con vibradores de inmersión 10,000 rpm.*
- *Ajustable a pendiente transversal en uno o dos sentidos.*
- *Con flotadora oscilante final.*
- *Peso aproximado 31.4 Ton.*

- *Tanque de combustible de 303 lts.*
- *Tanque de aceite hidráulico 284 lts.*
- *Aceite de motor 13.2 lts.*
- *Anticongelante del motor 35 lts.*
- *Dimensiones durante el transporte*
 - *Ancho 3.65 m*
 - *Largo 9.26 m*
 - *Altura 2.99 m*

2. Pavimentadoras de Proyectos Urbanos

Pavimentadora de 4 Tracks (Tipo Challenger 2000)

- *Capacidad de apoyarse en 3 o 4 orugas.*
- *Posibilidad de cero libramiento para colado contra guarniciones.*
- *Colado monolítico de guarnición y/o banqueteta (opcional).*
- *Colado de barrera central (opcional).*
- *Con banda de alimentación de 61 cm. de ancho (opcional)*
- *Motor de 152 HP y 113 KW a 2,500 rpm.*
- *Transmisión hidráulica hacía adelante y atrás.*
- *Velocidad de pavimentación hasta 8.5 metros por minuto.*
- *Dirigida por sensores.*
- *Ancho de pavimentación variable de 2.4 m. hasta 5.49 m.*
- *Espesor máximo de pavimento 25.0 cm.*
- *Altura de pavimentadora 2.54 m.*
- *Sistema hidráulico.*
- *Operación manual ó automática.*
- *Con gusano frontal para movilización de cargas de concreto.*
- *Con vibradores de inmersión.*
- *Peso aproximado 13.5 Ton.*

- *Tanque de combustible de 265 lts.*
- *Tanque de aceite hidráulico 144 lts.*
- *Dimensiones durante el transporte*
 - *Ancho 2.44 m*
 - *Largo 6.48 m*
 - *Altura 2.54 m*

Pavimentadora de 4 Tracks (Tipo Power Curber 8700)

- *Capacidad de apoyarse en 3 o 4 orugas.*
- *Posibilidad de cero libramiento para colado contra guarniciones.*
- *Colado monolítico de guarnición y/o banqueta (opcional).*
- *Colado de barrera central hasta 1.83 m. de altura (opcional).*
- *Motor de 160 HP y 118 KW a 2,500 rpm.*
- *Transmisión hidráulica hacía adelante y atrás.*
- *Dirigida por sensores.*
- *Ancho de pavimentación variable hasta 3.0 m con 3 orugas y 5.0 m con 4 orugas.*
- *Altura de pavimentadora 2.74 m.*
- *Sistema hidráulico.*
- *Operación manual o automática.*
- *Con vibradores de inmersión.*
- *Peso aproximado 11.3 Ton a 18.1 Ton.*
- *Dimensiones durante el transporte*
 - *Ancho 2.59 m*
 - *Largo 6.92 m*
 - *Altura 2.74 m*

Pavimentadora de 3 Tracks (Tipo Power Curber 5700-B)

- *Se apoya en 3 orugas.*
- *Colado monolítico de guarnición y/o banqueta (opcional).*

- *Colado de barrera central hasta 1.22 m. de altura (opcional).*
- *Motor de 83 HP y 63 KW a 2,500 rpm.*
- *Transmisión hidráulica hacía adelante y atrás hasta 15 metros por minuto.*
- *Dirigida por sensores.*
- *Ancho de pavimentación variable hasta 2.5 m.*
- *Altura de pavimentadora 2.74 m.*
- *Sistema hidráulico.*
- *Operación manual o automática.*
- *Con vibradores de inmersión.*
- *Peso aproximado 9.0 Ton.*
- *Capacidad del tanque 114 lts.*
- *Dimensiones*
 - *Ancho 2.50 m*
 - *Largo 5.40 m*
 - *Altura 2.60 m*

f) **TEXTURIZADORA – CURADORA**

Equipo que provee el texturizado longitudinal y transversal, así como la aplicación de la membrana de curado.

Texturizadora – Curadora (tipo TC-250)

- *Se apoya en 4 ruedas neumáticas.*
- *Motor de 56 HP y 42 KW a 2,500 rpm.*
- *Transmisión hidráulica hacía adelante y atrás.*
- *Dirigida por sensores.*
- *Con marco para soporte de yute.*
- *Con sistemas de aspersion para el yute.*
- *Con control de profundidad de texturizado.*
- *Con marco para colocación del peine metálico.*
- *Para anchos de pavimentación hasta 15.2 m.*

- *Sistema de aspersión para membrana de curado.*
- *Operación manual o automática.*
- *Peso aproximado 5.9 Ton.*
- *Dimensiones durante el transporte*
 - *Ancho 2.44 m*
 - *Largo 8.85 m*
 - *Altura 2.49 m*

Texturizadora (Mecánica)

- *Se apoya en 4 ruedas neumáticas.*
- *Sin motor.*
- *Se opera manualmente mediante manivela.*
- *Es impulsada por el operador.*
- *Con marco para colocación del peine metálico.*
- *Para anchos de pavimentación hasta 12.0 m.*
- *Sistema mecánico manual.*
- *Peso aproximado 0.9 Ton.*
- *Dimensiones variables.*

g) EQUIPOS DE PAVIMENTACIÓN DE CIMBRA FIJA

Rodillos Vibratorios (tipo Allen)

- *Se apoya sobre cimbra metálica.*
- *Motor de 32 HP a 3,000 rpm.*
- *Autopropulsados.*
- *Cuenta con marco de rigidez.*
- *Con gato hidráulico para acomodo del rodillo.*
- *Con 3 cilindros metálicos a 180 rpm.*
- *Para anchos desde 3 m. hasta 11.0 m.*

- *Sistema de aspersión para limpieza frontal.*
- *Sistema hidráulico.*
- *Dimensiones variables.*
- *Diámetro rodillo: 8" (20.3 cm.)*
- *Encendido electrónico.*
- *Accesorios opcionales:*
 - *Puente trasero*
 - *Barandal*

Rodillos Vibratorios (tipo JD)

- *Se apoya sobre cimbra metálica.*
- *Motor de 10 HP.*
- *Autopropulsados.*
- *Con 3 cilindros metálicos.*
- *Para anchos desde 3 m. hasta 11.0 m.*
- *Sistema mecánico manual a base de palancas.*
- *Dimensiones variables.*
- *Diámetro rodillo: 21.0 cm.*

h) CORTADORAS DE CONCRETO FRESCO

- *Autopropulsadas.*
- *Motores de 20 HP, 35 HP y 65 HP a 2750 rpm.*
- *Profundidad máxima de corte 6.5 pulg.*
- *Baleros y flecha sellados.*
- *Control de disco: con agua.*
- *Encendido eléctrico.*
- *Motor enfriado por aire.*
- *Peso: variable desde 280 kg. a 660 kg.*
- *Accesorios:*

- *Kit de bomba de agua eléctrica*
 - *Kit de alumbrado*
 - *Varilla de referencia*
 - *Mofle silenciador vertical*
 - *Guarda – disco de protección de 18”*
 - *Llave adicional para eje del disco*
 - *Velocidad de avance 220 pies por minuto.*
 - *Avance hacia adelante y en reversa.*
 - *Se alimenta con discos de diamante.*
- i) BOMBA DE SILICÓN*

La bomba de silicón permite utilizar los tambos de 208 lts. de sellado y ahorrar en la instalación del sello.

j) PERFILÓGRAFO COMPUTARIZADO

Existen varios tipos de perfilógrafos en el mercado, sin embargo en este caso nos vamos a referir al Perfilógrafo tipo California.

Este aparato permite medir el perfil longitudinal del pavimento.

- *Armadura de aluminio.*
- *Longitud 7.62 m.*
- *Ancho 0.40 m.*
- *Altura 1.40 m.*
- *Con computadora de uso rudo y estuche.*
- *Utiliza rollo de papel térmico.*
- *Equipado con freno de estacionamiento.*
- *Con tráiler de 6' x 10' x 5"-6" (opcional)*
- *Generador de 120 VAC.*
- *Incluye software para medición de perfil.*
- *Sistema métrico o inglés.*

- *Separación no uniforme de las ruedas.*
- *Separación máxima entre ruedas externas 10.1 m.*
- *Ruedas a 0.31 m. de la estructura.*
- *Diámetro de la rueda móvil mínimo 6" (0.1524 m.) colocada al centro de la estructura.*
- *Peso aproximado 204.5 kg.*
- *Escala vertical 1": 1" y horizontal 1": 25 pies.*
- *Puede ser desarmado y transportado en un remolque o camioneta.*

k) MEDIDORES DE FRICCIÓN

Existe una gran variedad de medidores de fricción en la actualidad. La variación en cuanto a los métodos de medición y los tipos de aparatos es sumamente grande. Existe un tipo de medidor de fricción que puede obtener un espectro de resultados que permite tener resultados correspondientes a los obtenidos con dos o más equipos diferentes, este tipo de aparato es el que vamos a describir.

Norsemeter

El equipo de Norsemeter especialmente diseñado para la medición de fricción y el análisis de las características de la superficie del pavimento en caminos es la unidad ROAR Mark II (Road Analyzer Recorded) y tiene sus principales usos en las siguientes áreas:

- *Administración de pavimentos.*
- *Mediciones para la operación del pavimento.*
- *Aprobación de pavimentos nuevos.*
- *Investigación de pavimentos.*
- *Mediciones de servicio.*
- *Investigación de accidentes de tráfico.*
- *Aseguramiento de calidad en pavimentos.*
- *Pistas de prueba de vehículos.*
- *Análisis de pistas de carreras.*

Algunas de las características generales que describen al equipo son:

- *Mediciones de fricción, textura y drenaje.*
- *Mediciones en condiciones húmedas ó secas, en cualquier época del año.*
- *Reporta el Índice Internacional de Fricción (IFI) y la fricción máxima (peak friction).*
- *Mediciones a velocidades entre 20 y 130 km/h.*
- *Con software de análisis para interpretar y presentar las mediciones.*
- *Genera el espectro completo de la fricción.*
- *La unidad puede ser montada en la parte trasera de un vehículo o remolcada en un tráiler con su propio sistema de humedecimiento.*
- *Ofrece distintos modos de operación, ya que puede hacer mediciones bajo los métodos de deslizamiento fijo (fixed slip), deslizamiento variable (variable slip) ó ambos.*
- *Al medir la fricción con el método de deslizamiento variable, se obtiene:*
 - *μ Max ó fricción máxima (peak friction number)*
 - *Velocidad de deslizamiento crítica (critical slip speed)*
 - *Índice Internacional de Fricción, IFI (International Friction Number)*
 - *Factor de forma, de acuerdo al modelo de fricción de Rado*
 - *Temperatura ambiente*
 - *Hora y fecha de medición*
- *Al medir la fricción con el método de deslizamiento fijo, se obtiene:*
 - *Valor promedio de fricción para la sección seleccionada*
 - *Temperatura ambiente*
 - *Hora y fecha de medición*

El software que la unidad ROAR tiene como default trabajar con el nuevo modo de derrapamiento variable, en el cual el ROAR trabaja ejerciendo una fuerza de frenado al neumático, la cual al principio rueda o gira libremente sobre la superficie, se va frenando hasta llegar a la etapa en que está completamente frenada y ya no rueda, solo se desliza sobre la superficie. Se mide la fuerza de fricción al frenaje que la superficie ejerce sobre el neumático. Cada prueba de

frenaje solamente tarda 0.5 seg. Y es desarrollada con una fuerza de frenaje muy controlada.

La otra opción es el método anteriormente usado CFME (Continuos Friction Measurement Equipment) en donde el neumático estándar es deslizado a un porcentaje constante de la velocidad. En este modo de medición (derrapamiento fijo) el ROAR ofrece fijar al operador el valor de derrapamiento constante como un porcentaje entre el 2 y 21 100%.

1) INSERTADOR DE PASAJUNTAS

Este es un equipo muy sencillo que permite insertar las barras pasajuntas en los bordes de losas del pavimento, es una especie de taladro especial para colocar las pasajuntas en los bordes del concreto ya endurecido.

CAPÍTULO 3

PAVIMENTOS SUSTENTABLES

3.1 PAVIMENTOS SUSTENTABLES

*Sustentabilidad. – del Latín: sustinere (from sus, up and tenere, tohold)
Esencialmente la capacidad de durar.*

El concepto de sustentabilidad como condición necesaria para el desarrollo sustentable y como criterio global de elección es aplicable directamente a las carreteras. Realmente es aplicable a cualquier actividad humana que tenga vocación de perdurar generación tras generación especialmente si, para ello, necesita recurrir al consumo de recursos naturales y de energía no renovable; pero su aplicación al proyecto y construcción de carreteras es muy interesante por diversas connotaciones específicas de las mismas. Dicha aplicación propicia un ejercicio de reflexión lleno de interés.

a) ASPECTOS GENERALES

La sustentabilidad es una característica de la actividad humana que evalúa la capacidad que tal actividad tiene para ser desarrollada permanentemente, durante generaciones, y consumiendo aquéllos recursos naturales imprescindibles en las menores cantidades posibles, de modo que el desarrollo actual de dicha actividad no comprometa la posibilidad de que las próximas generaciones puedan seguir desarrollándola.

Este concepto tiene una gran amplitud ya que la acción de consumir hay que entenderla como cualquier disminución o perjuicio de los recursos disponibles, entroncando de este modo, y de forma directa, con la protección del medio ambiente. Obviamente cualquier actividad con pretensiones de desarrollarse debe aunar, a la satisfacción de una necesidad requerida por la sociedad, unas condiciones que merezcan una valoración positiva de su desarrollo, tanto desde el punto de vista económico (dicha actividad debe ser económicamente viable) como social (dicha actividad debe desarrollarse en unas condiciones de trabajo saludables para las personas que la ejercen).

Por lo tanto, la sustentabilidad es una expresión de responsabilidad social que tiene que ver con el ahorro de recursos naturales no renovables, con el respeto al medio ambiente y que se aplica en el tiempo.

Forman parte de ella:

- *Aspectos de ahorro (energético, de recursos naturales, etc.),*
- *Aspectos medioambientales (control de emisión de gases de efecto invernadero, valorización de residuos, etc.),*
- *Aspectos sociales (generación de empleo, seguridad y salud en el trabajo, etc.),*
- *Aspectos económicos (productividad, eficiencia en la accesibilidad al producto, etc.).*

La sustentabilidad es un parámetro relativo que se emplea siempre para comparar. No existen actividades sustentables, como valor absoluto. Existen actividades más o menos sustentables en comparación con otras.

Cuando se cuantifica la sustentabilidad de dos actividades o dos productos diferentes, se pretende compararlos entre sí y, por tanto, dicha cuantificación debe realizarse con un procedimiento homogéneo que partirá de que ambas actividades o productos cubren la misma necesidad con idénticos requisitos. Dicha cuantificación se hace globalmente, con ánimo de integrar en ella la totalidad de los aspectos a considerar. Ello lleva a realizarla en un periodo largo de tiempo durante el cual se producirán todas las circunstancias previsibles y se manifestarán todos los aspectos valorables. Este periodo se identifica con el ciclo de vida del producto que el desarrollo de la actividad en cuestión crea para satisfacer la necesidad demandada.

Dicho producto final tiene, a lo largo de su vida útil, un balance de consumos (gastos menos ahorros) y de impacto ambiental (deterioros menos correcciones) necesarios para la producción de las materias primas, para la elaboración del producto como tal, para la utilización de dicho producto final por parte de los usuarios a lo largo de la vida útil de aquél, para reducir a residuos, y deshacerse de los mismos, el citado producto final ya obsoleto e inservible.

La suma de todos los consumos e impactos dividida por el tiempo de vida útil en que el producto final considerado ha servido a la sociedad (a los usuarios del mismo) es un valor que forma parte del índice que cuantifica la sustentabilidad del producto final evaluado. Cuanto menor es este valor mayor es la sustentabilidad de la actividad o del producto evaluado. Tras aplicar el mismo procedimiento de evaluación desde cada uno de los aspectos considerados en la sustentabilidad (aspecto sociales, económicos, medioambientales y energéticos) y utilizando los coeficientes de ponderación necesarios que permitan, como si de unidades homogéneas se tratara, operar con los diferentes índices parciales de sustentabilidad, se obtiene un valor total, o agregado, que es el índice de sustentabilidad o índice que cuantifica la sustentabilidad del producto final evaluado.

Por tanto, para medir la sustentabilidad es necesario acordar, previamente, un modelo de cuantificación y tratamiento del análisis del ciclo de vida en el que se establezcan los criterios de valoración y de ponderación a aplicar.

b) LA CARRETERA COMO OBJETO SUSTENTABLE Y COMO OPORTUNIDAD DE AUMENTAR LA SUSTENTABILIDAD GLOBAL

Cuando el producto final a considerar, a la luz de la sustentabilidad, es la carretera, podemos observar que, por las características específicas de las obras correspondientes, en cuanto a los materiales que pueden resultar adecuados para alguna parte de la sección tipo, es posible analizar la mayor o menor sustentabilidad de la carretera que se proyecta o construye y, además, también es posible analizar las oportunidades que dicha carretera ofrece para valorizar residuos empleándolos como materiales de construcción no tradicionales e incluso no estrictamente necesarios, pero que su utilización proporciona una mejora relevante para la conservación del paisaje o del medio ambiente en términos globales. El primero de los análisis citados considera a la carretera como un objeto más o menos sustentable y el segundo pone de manifiesto la capacidad que la carretera tiene para ser utilizada como una oportunidad para aumentar la

sustentabilidad de otras actividades y, por tanto, de contribuir a un desarrollo más sustentable del conjunto de la sociedad.

Es evidente que una carretera en la que se valorizan residuos, además de contribuir a un incremento de la sustentabilidad global, también incrementa su propio índice de sustentabilidad. La jerarquía en la valorización de residuos establece un nivel superior para los modos de valorización que recuperen los residuos haciendo que formen parte de un “nuevo” material que mantiene las mismas prestaciones que el material tradicional, obtenido directamente desde las materias primas correspondientes y sin aportación alguna de residuos. Cuando el modo de valorización de los residuos es el reciclaje se alcanza un nivel inferior, obteniendo materiales reciclados cuyas prestaciones son inferiores, en mayor o menor medida, a las que ofrece el material tradicional anteriormente descrito.

Desde un punto de vista global, siempre es más interesante para el conjunto de la sociedad la recuperación de residuos. Previsiblemente, los trabajos de I+D+i propiciarán dicha recuperación en la carretera, donde el empleo de agregados reciclados evolucionará hasta llegar a convertirse en la utilización de agregados recuperados de residuos de construcción. La recuperación de residuos reduce el consumo de la materia prima y el proceso necesario para la producción u obtención del material sustituido por el residuo recuperado que, sometido al proceso correspondiente, ofrece las mismas prestaciones que aquel y, al mismo tiempo, evita un basurero y los problemas paisajísticos y medioambientales que dicho basurero genera. Por ello es una actividad de gran impacto positivo en el desarrollo sustentable que vendrá de la mano de la carretera.

c) BALANCE DE CONSUMOS E IMPACTO AMBIENTAL EN LA CARRETERA

Cuando el producto final a considerar, en términos de sustentabilidad, es la carretera, cabe plantear el siguiente balance de consumos e impacto ambiental.

• *A corto plazo, durante:*

- *La obtención de materias primas.*
- *La producción de materiales.*
- *La ejecución de la construcción.*

• *A largo plazo, durante:*

- *La vida de servicio, es decir el balance de consumos del usuario durante la utilización de la carretera.*
- *La conservación y el mantenimiento de dicha carretera.*
- *La deconstrucción o demolición de la carretera después de su vida útil, ya obsoleta e inservible.*
- *La rehabilitación de la propia carretera para prolongar su vida de servicio, recuperando los materiales propios de aquella.*
- *La recuperación de los residuos propios de la demolición, que de este modo se aprovechan.*

• *A corto y a largo plazo, mediante:*

- *La recuperación en la carretera de residuos de procedencia ajena a la propia carretera, que de este modo se aprovechan, con la máxima jerarquía dentro del procedimiento de valorización de residuos aumentando, de esta manera, la sustentabilidad, global y la propia de la carretera.*
- *El reciclaje en la carretera de residuos ajenos que, con una menor jerarquía dentro del procedimiento de valorización de los mismos, se aprovechan contribuyendo también, aunque en menor medida, al aumento de la sustentabilidad, global y la propia de la carretera.*

En general, al cuantificar la sustentabilidad de la carretera, el balance de consumos e impacto ambiental a corto plazo, es inferior al mismo balance realizado a largo plazo, procediendo en ambos casos tal como se ha descrito anteriormente.

Considerando el balance completo, a lo largo de toda la vida útil y el posterior proceso de rehabilitación o demolición, cabe analizar el proceso de sustentabilidad de la carretera durante las diferentes fases por la que pasa, a saber:

- *Concepción (planificación, estudio informativo, previsión de corredores).*
- *Proyecto (proyecto de trazado, proyecto de construcción).*
- *Ejecución.*
- *Explotación (consumo del usuario y gastos de mantenimiento y conservación).*

En todas ellas se toman decisiones que afectan decisivamente a la sustentabilidad de la carretera.

d) PLANIFICACIÓN FAVORABLE AL AUMENTO DE LA SUSTENTABILIDAD

Las primeras etapas de concepción de la carretera tienen una importancia decisiva en la mayor o menor sustentabilidad de la misma. Es en esta etapa cuando los aspectos relacionados con el interés social se sustancian.

También es una etapa en la que se pueden enunciar criterios a seguir en el Proyecto de Trazado que redundarán en una mayor sustentabilidad.

Es importante considerar:

- *Limitar la altura de los terraplenes, la longitud y ubicación de los mismos. El terraplén es la solución más “dura” y la de mayor afección paisajista como interrupción del sistema orográfico de los valles. Los terraplenes altos pueden producir asentamientos por fluencia apreciables, de modo que pueden convertirse en fuente de gastos de conservación y mantenimiento periódicos. Obviamente, el terraplén debe permeabilizarse para no interrumpir los cursos del agua, los posibles torrentes en épocas muy lluviosas y para permitir que la fauna transite por el valle y tenga acceso fácil a aquellos puntos en los que pueda beber. Por todo ello, en múltiples ocasiones, las estructuras pueden sustituir a los terraplenes con*

ventaja, propiciando soluciones bien integradas en el paisaje y muy respetuosas con el medio ambiente, y aumentando la sustentabilidad de la carretera.

- Realizar un primer balance del consumo de combustible que los usuarios realizarán durante la vida útil de proyecto en función de la pendiente y de la longitud permitirá establecer criterios para minimizar dicho consumo y las emisiones de CO2 asociadas al mismo.

El cumplimiento del protocolo de Kyoto exige la reducción de las emisiones de gases que producen el efecto invernadero, en su mayor parte CO2. La mayor parte de ellas se agrupan en lo que denominamos emisiones de origen difuso y, entre estas, las producidas por el tráfico de vehículos son relevantes. Por ello es importante que la carretera contribuya a dicha reducción.

e) PROYECTO FAVORABLE AL AUMENTO DE LA SUSTENTABILIDAD

El Proyecto, en sus diversas fases o modalidades, define la carretera y, por tanto, es un elemento básico para aumentar la sustentabilidad de la misma. En el Proyecto de Trazado deben considerarse los criterios expuestos anteriormente al hablar de la Planificación. En cuanto a la previsión de los cantos de las estructuras es conveniente considerar que el concreto armado o presforzado ofrece estructuras de elevada sustentabilidad y constituye un material muy adecuado para aumentar la sustentabilidad de la construcción.

El empleo del concreto en las estructuras de la carretera proporciona:

- *Una vida útil muy elevada.*
- *Reduce los gastos de conservación y mantenimiento a valores irrelevantes.*
- *Es reciclable al final de su vida útil, pudiendo formar parte, como material granular recuperado, de otras carreteras u otras construcciones.*

En el Proyecto de Ejecución es conveniente estudiar el mejor aprovechamiento de los productos de las excavaciones en la propia traza, evitando incrementar las

actividades extractivas necesarias para la obtención de préstamos. En este sentido, el empleo de suelos y explanadas estabilizadas mediante cemento o mediante cal y cemento, en función del tipo de suelo a tratar, mejora las propiedades del terraplén y de su coronación y permite el empleo de suelos más accesibles y una mejor compensación de los volúmenes de desmonte y terraplén en el ámbito de la propia carretera.

El balance global de estas soluciones resulta, en general, favorable al aumento de la sustentabilidad. El empleo de firmes con gastos de conservación y mantenimiento irrelevantes es una decisión claramente favorable al aumento de la sustentabilidad de la carretera. En este sentido los firmes de concreto, en sus diversas tipologías, son muy adecuados para obtener un aumento de la sustentabilidad, máxime si se tiene en cuenta que las condiciones de deformación de los mismos ofrecen a los vehículos unas condiciones de rodadura tales que disminuye el consumo de combustible de dichos vehículos usuarios a lo largo de toda la vida útil de la carretera. Además, el empleo de estos firmes que evitan las obras de repavimentación periódica, reduce los costos y consumos empleados en las mismas y evita, también, las restricciones de tráfico que ellas generan, con la disminución asociada del nivel de servicio de la carretera, el incremento de los tiempos en el recorrido, el incremento de consumo de combustible de los vehículos usuarios y el incremento del riesgo de accidentes que generan. En consecuencia, evitar todos estos inconvenientes es aumentar la sustentabilidad de la carretera.

En el paquete de firme, el empleo de materiales granulares tratados con cemento, que actúa como conglomerante del conjunto, para obtener las prestaciones mecánicas requeridas y una mayor resistencia frente al agua y, en consecuencia, mayor durabilidad, también aumenta la sustentabilidad de la carretera.

Este tipo de decisiones facilita e impulsa la actividad de I+D+i para alumbrar nuevas soluciones que desarrollen plenamente la potente capacidad que la carretera tiene como oportunidad para aumentar la sustentabilidad global del

modo expuesto anteriormente. Cuando resulten procedentes, las actuaciones de rehabilitación de carreteras existentes mediante escarificado del firme existente, incluida la capa de rodadura, mezclado en frío del conjunto así obtenido con cemento, que actuará como conglomerante para conferir las características requeridas al nuevo firme, y recolocación del mismo mediante la maquinaria adecuada actuando en tándem para dar lugar a un proceso continuo de ejecución, son soluciones de elevada sustentabilidad que permiten el refuerzo y adecuación de las carreteras deterioradas para hacer frente a un nuevo periodo de vida útil en buenas condiciones de servicio.

Si se prevé la contaminación relevante del agua drenada por la carretera, la disposición de pequeñas estaciones de filtrado y separación de grasas, antes del vertido libre de la red de drenaje al terreno natural, evita la contaminación del suelo y de las aguas profundas, lo que aumenta la sustentabilidad de la carretera construida. El estudio de impacto ambiental y el establecimiento de las medidas correctoras es un elemento básico para establecer estrategias concluyentes en el aumento de la sustentabilidad de la carretera.

f) EJECUCIÓN FAVORABLE AL AUMENTO DE LA SUSTENTABILIDAD

Durante la ejecución de las obras de la carretera de acuerdo con un Proyecto favorable al aumento de la sustentabilidad, la principal aportación a dicho aumento se realiza optimizando el proceso de ejecución desde el punto de vista de la prevención de riesgos laborales y de la aplicación de planes de seguridad y salud en obra cuyo objetivo sea “accidentes cero”. La optimización del proceso de ejecución desde el punto de vista económico y la elección de maquinaria y medios auxiliares que minimicen el consumo de energía no renovable y el consumo de combustible que conlleva la producción de emisiones de gases de efecto invernadero, también contribuye decisivamente al aumento de la sustentabilidad de la carretera construida. Así mismo el incremento de la productividad en la realización de los trabajos también contribuye, de manera relevante, al aumento de la sustentabilidad.

El Plan de Protección del medio ambiente durante la ejecución de las obras, que debe incluir, además, las pautas para la gestión de los residuos que la propia obra genera, es una herramienta fundamental para, desde la responsabilidad de la ejecución, actuar a favor del aumento de la sustentabilidad.

En la elección de los materiales a emplear en la obra, se deben priorizar aquellos que redunden en la obtención de un mayor índice de sustentabilidad.

Desarrollar, en un futuro próximo, índices de sensibilidad medioambiental que reflejen la sensibilidad, como valor positivo que se traduce en un aumento de la sustentabilidad, de los materiales y procedimiento de ejecución propios de la carretera para ser más respetuosos con el medio ambiente, permitirá, incrementar la contribución de la carretera construida a la sustentabilidad, tanto en el nivel de Proyecto como al término de la ejecución.

g) I+D+i FAVORABLE AL AUMENTO DE LA SUSTENTABILIDAD

Los trabajos en el ámbito de la Investigación, Desarrollo e Innovación que tengan como objeto la carretera tienen la responsabilidad de proponer soluciones que redunden en un aumento de la sustentabilidad de la misma. En este sentido tendrán especial interés aquellos orientados a proponer soluciones innovadoras basadas en el aprovechamiento óptimo de la oportunidad que la carretera ofrece para obtener aumentos de la sustentabilidad global, en los términos expuestos anteriormente.

Probablemente, la valorización de residuos de la construcción en la carretera resulte del máximo interés.

3.2 BENEFICIOS SOCIALES DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO

Además del medio ambiente y la economía, el desarrollo sustentable también contempla un aspecto social donde el bienestar y la seguridad son esenciales. Al ciudadano no le gusta sufrir grandes demoras debido a las obras de construcción, reparación y mantenimiento de las carreteras y espera que las autoridades realicen inversiones de calidad.

a) MENORES DEMORAS COMO RESULTADO DE UN MENOR MANTENIMIENTO

Los bajos requisitos de mantenimiento de los pavimentos de concreto redundan en una menor cantidad de obras en la carretera durante la vida útil del firme. Esto se traduce en un menor número de intervenciones y en una disminución de las molestias a los conductores y a los vecinos de las comunidades próximas.

Un pavimento nuevo de concreto convencional puede abrirse al tráfico entre 4 y 7 días después del curado y en el caso de reparaciones, la utilización de aditivos acelerantes del curado hacen que el concreto endurezca en 3 días y en algunos casos en 24 horas. Esta técnica se utiliza en muchos países en las vías para tráfico importantes.

b) LAS MEJORAS EN LA CAPA DE RODADURA AUMENTAN LA VIDA ÚTIL DE LA CARRETERA

Los pavimentos de concreto con más de 40 años que aún están en servicio han originado un problema de imagen relacionado con la comodidad en la conducción y el ruido porque estos aspectos eran secundarios cuando se construyeron y fueron ejecutados mediante técnicas y equipos hoy considerados obsoletos.

Los diseños modernos, los nuevos métodos constructivos, los mejores acabados de la capa de rodadura y las máquinas actuales hacen posible que hoy se puedan

realizar carreteras con excelentes características superficiales que satisfacen las necesidades y los objetivos de los usuarios, vecinos de las vías y gestores de carreteras.

c) COMODIDAD EN LA CONDUCCIÓN

Para la ejecución de los primeros pavimentos de concreto se utilizaban losas de gran tamaño (8 a 15 m de longitud) separadas entre sí mediante juntas de dilatación anchas (25 a 50 mm). Con estas características, las carreteras ofrecían bajos niveles de comodidad en la conducción a consecuencia de la anchura de las juntas y al escalonamiento que se producía como resultado de un daño localizado sobre una base que generalmente consistía en materiales susceptibles de erosionarse. Desde el comienzo de los años setenta, estos problemas se resolvieron utilizando diseños que incluían las siguientes innovaciones:

- *Losas más cortas (máximo 5 m de longitud) que dan lugar a que el hormigón sea menos susceptible a la fisuración.*
- *Juntas de contracción con cortes finos y sellados que limitan las molestias de las juntas al mínimo.*
- *Pasadores en las juntas transversales y bases tratadas con cemento que aseguran una excelente transferencia de las cargas y evitan el escalonamiento en las juntas.*

El concreto armado continuo, que se caracteriza por la ausencia de juntas transversales, se elige frecuentemente para autopistas y carreteras principales. En esta solución, la retracción del concreto se absorbe mediante pequeñas microfisuras que no influyen ni en la regularidad superficial ni en la comodidad de la conducción.

Se pueden construir pavimentos de concreto más regulares gracias a:

- *La optimización de las mezclas de concreto con una trabajabilidad constante y preparadas en una planta controlada por ordenador a pie de obra.*
- *La nueva generación de extendedoras equipadas con sistemas automáticos de control de los vibradores.*

- *La adecuada instalación de cables guía para controlar la maquinaria o sistemas inalámbricos que hacen uso de una estación total.*
- *El uso de un fratás oscilante longitudinal detrás de la máquina de acabado.*
- *Nuevos sistemas de medición de la regularidad superficial instalados inmediatamente detrás de la extendedora, permitiendo correcciones del proceso constructivo.*

Con excepción de aquellos países en donde está permitido el uso de neumáticos con clavos, los pavimentos de hormigón son inmunes a la formación de roderas. Además, la regularidad longitudinal y transversal alcanzada en el proceso de construcción se mantiene durante muchos años.

Por otro lado, los daños debidos al efecto de las sales fundentes se evitan utilizando hormigones de buena calidad (contenido adecuado de cemento, baja relación agua cemento y empleo de aireantes).

El descascarillado o fenómeno de pérdida de agregados de la superficie no es un problema en los pavimentos modernos de concreto.

d) SEGURIDAD

La seguridad sigue siendo la variable más importante para la superficie de una carretera. Aunque la comodidad en la conducción es también un factor relevante, la resistencia al deslizamiento, el acuaplaning y la visibilidad son aún más significativos. En relación al deslizamiento, una textura de la superficie con una adecuada fricción puede evitar accidentes, tanto en superficies secas como en mojadas.

Se ha comprobado, en países donde existe tradición de carreteras de hormigón, que éstos no generan problemas desde el punto de vista de la resistencia al deslizamiento.

Así, hace algunas décadas se empleaba un ranurado transversal para el acabado de la superficie debido a sus excelentes características frente a la fricción y al drenaje del agua, con el único inconveniente de que eran superficies ruidosas.

Otro tipo de textura superficial es el cepillado transversal o el paso de una arpillera, que presenta una buena resistencia inicial a la fricción pero que disminuye a lo largo del tiempo, especialmente en la etapa final de la vida útil.

Actualmente parece que la mejor solución son las superficies de agregado visto ya que no muestran ninguna degradación significativa de la resistencia al deslizamiento con el tiempo. Desde mediados de los años noventa muchas carreteras principales (autovías y autopistas) y regionales fueron construidas con este acabado. El agregado fino implica que el tamaño máximo del agregado grueso está limitado a 20 mm y el agregado fino (4 a 6 u 8 mm) constituye al menos el 20% del material granular (arena + agregados).

En las superficies con agregado visto, aunque hay una disminución de los valores iniciales a lo largo del tiempo, tanto el coeficiente de rozamiento longitudinal como el coeficiente de rozamiento transversal se mantienen. El resto de valores registrados varían dependiendo de la estación del año en que se haya realizado el ensayo.

Independientemente del tipo de acabado superficial, la durabilidad del rozamiento precisa del uso de los agregados correctos en la capa superior del pavimento. Deben cumplir todos los requisitos de resistencia a la abrasión, dureza y resistencia a las heladas. Una de las ventajas de los pavimentos de concreto es que la resistencia al deslizamiento necesaria se alcanza inmediatamente después de colocarlos y además no se produce pérdida de agregado fino. La textura de los pavimentos combinada con su perfil transversal tiene una gran influencia en el acuaplaning (cuando los neumáticos de los vehículos pierden contacto con la superficie de la carretera).

Como los pavimentos de concreto no se ven afectados por la formación de roderas, la posibilidad de que esto suceda es prácticamente nula, siempre y cuando la pendiente transversal sea suficiente para evacuar el agua.

Otra causa de accidentes en épocas lluviosas es la reducción de la visibilidad causada por las salpicaduras y por las cortinas de agua delante de los vehículos. En este caso, las superficies de concreto sin poros no pueden competir con las mezclas bituminosas porosas o con un recubrimiento de concreto poroso. No obstante, texturas transversales o acabados con agregado visto con la suficiente

profundidad en la textura superficial limitan las cortinas de agua en gran medida. Finalmente, los colores claros en la superficie del concreto contribuyen a mejorar la visión nocturna de los conductores.

e) RUIDO

Aunque el ruido del tráfico suele relacionarse con la comodidad de la conducción, es una de las principales preocupaciones de las comunidades de vecinos, sobre todo en zonas urbanas donde la densidad de población es muy elevada. Varios estudios han demostrado que la limitación del ruido en origen, por ejemplo, en la superficie de la carretera, es la solución más eficaz desde un punto de vista económico. En los últimos años se han desarrollado diferentes acabados para reducir el ruido y se siguen realizando numerosos ensayos.

Aunque es cierto que los pavimentos de concreto convencional no pueden lograr las reducciones de ruido alcanzadas con superficies porosas o capas delgadas de mezclas bituminosas, el acabado con agregado visto(superficial) constituye una buena alternativa para conseguir una superficie de carretera silenciosa y segura. Con esta técnica los niveles de ruido en la rodadura son similares a los obtenidos por un microaglomerado SMA, pero se alcanzan no sólo inmediatamente después de su ejecución, sino a lo largo de la vida útil del pavimento.

Otra técnica efectiva consiste en disponer una textura longitudinal o en fresar con disco de diamante. Los mejores resultados se obtienen empleando dos capas de concreto, en la que la capa superior contiene únicamente agregado fino, por ejemplo con un tamaño máximo del agregado de 6 a 8 mm. Indistintamente del tipo de reducción de ruido elegido, es sumamente recomendable no hacer ninguna concesión en materia de seguridad.

f) UNA AMPLIA GAMA DE SOLUCIONES A FAVOR DE LA MOVILIDAD

El uso de concreto es esencial en numerosos proyectos de infraestructuras para alcanzar una movilidad sustentable en todos sus aspectos. Algunas aplicaciones especiales en la construcción de carreteras son la ejecución de rotondas de concreto en masa o de concreto armado continuo. Respecto al equipamiento de la carretera, las barreras de seguridad de concreto, ya sean prefabricadas o construidas in situ, representan una solución adecuada, duradera y segura. Las barreras de seguridad de concreto deben cumplir con la normativa y especificaciones.

En el ámbito urbano, el uso del concreto en adoquines o en soluciones de agregado visto de diferentes colores mejora la apariencia visual de los cruces, las calles, los parques, etc. Así, las aceras de concreto y los carriles para bicicleta satisfacen las necesidades de los usuarios más vulnerables de la vía. También está aumentando el uso del concreto como una solución sustentable para las infraestructuras de transporte público, ya sean autobuses, tranvías o trenes.

Los pavimentos de concreto en vías rurales dan un servicio importante a la comunidad. Su rigidez permitió que en el pasado se pudieran construir sin necesidad de ninguna sub-base y a pesar de los muchos años de uso y el poco mantenimiento realizado, aún satisfacen las necesidades de los vehículos pesados utilizados en la agricultura moderna.

Por último, los pavimentos de concreto están biunívocamente unidos a túneles y viaductos, canales y vías de navegación, pistas de rodaje y área de estacionamiento de los aeropuertos y las infraestructuras portuarias.

g) TÉCNICAS DE TRATAMIENTO DE SUELOS, RECICLADO IN SITU DE PAVIMENTOS E INMOVILIZACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS

El tratamiento de suelos in situ consiste en mezclar el suelo con un conglomerante (cemento, cal o un conglomerante hidráulico para carreteras) con el objetivo de

mejorar o estabilizar la capa de suelo. La palabra estabilización se emplea cuando la mezcla puede soportar el agua y el hielo. Algunas de las posibles aplicaciones son en explanadas, sub-bases y, en algunos casos, bases cuando los firmes no tienen que soportar un tráfico excesivamente pesado.

La técnica de reciclado de firmes in situ consiste en triturar las capas granulares existentes, que pueden estar cubiertas o no por una mezcla bituminosa, y mezclarlas con cemento y agua si es preciso. En caso necesario, hay que añadir el material granular con el objeto de obtener una adecuada granulometría para combinarse con el cemento. El resultado que se obtiene es una mezcla tratada con cemento con una muy buena capacidad portante y una excelente resistencia a la erosión frente al agua y las heladas. Si se cubre con una o dos capas de mezcla bituminosa, se consigue un firme rehabilitado en toda su profundidad prácticamente sin transporte de materiales o movimiento de tierras. Es por tanto, una magnífica técnica para la rehabilitación de carreteras secundarias.

Una tercera aplicación es la inmovilización de residuos estabilizándolos con cemento. La contaminación de los suelos y del agua superficial por medio de metales pesados es uno de los mayores peligros para el medio ambiente y la salud pública y normalmente no es posible retirar y tratar el suelo y los materiales contaminados, bien por razones prácticas o financieras.

Los beneficios de estas técnicas se pueden resumir en:

- *Rápida ejecución.*
- *Reducción o eliminación de costos de vertederos.*
- *Eliminación de la necesidad de disponer nuevo material granular.*
- *Reducción de la demanda de nuevos agregados y arena.*
- *Reducción de tráfico alrededor de la obra.*
- *Una solución económica para la capa responsable de la capacidad del firme.*
- *Una alternativa para gestionar los suelos contaminados.*

h) PAVIMENTOS PERMEABLES

Los pavimentos permeables, contruidos generalmente con adoquines permeables, constituyen una excepcional aplicación medioambiental. Permiten que las aguas de lluvia pasen a través de la superficie dentro de la estructura, que la almacena temporalmente y luego la elimina lentamente, ya sea en un suelo permeable, hacia una zona de filtración cercana o a un sistema de drenaje.

Las sub-bases permeables combinadas con pavimentos permeables pueden ayudar a evitar inundaciones mediante la reducción de la cantidad de agua que circula por los sistemas de drenaje. Incluso pueden mejorar la calidad del agua superficial reteniendo los elementos contaminantes en la base de la carretera.

Los pavimentos permeables se pueden construir utilizando pavimentos porosos o adoquines con juntas abiertas o con orificios de drenaje. El concreto magro drenante ofrece una combinación ideal de estabilidad y permeabilidad para el material de la base.

CONCLUSIONES

Hasta hace algunos años en México solo se construían pavimentos con carpeta asfáltica que significaban una vida útil corta y representaban altos costos de mantenimiento.

En 1993 se introducen en México los pavimentos de concreto hidráulico, en un afán de brindar una mayor durabilidad a la red carretera nacional apoyados en la implementación y difusión de novedosas técnicas de diseño, construcción y rehabilitación de pavimentos rígidos. A la fecha se cuenta en México con distintas alternativas de pavimentación que cubren las necesidades específicas de la población, brindando seguridad, comodidad y ahorros importantes en costos de mantenimiento.

a) PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRÁULICO

Anteriormente se pensaba que construir un pavimento de concreto hidráulico representaba largos tiempos de ejecución, estructuras de carpetas robustas, grandes cantidades de acero de refuerzo y superficies de rodamiento que al cabo de algún tiempo, se tornaban propensas al derrapamiento de los vehículos. Por lo que se torna necesario diseñar de acuerdo a las necesidades particulares de cada proyecto con el fin de eficientizar los recursos y garantizar la confortabilidad y seguridad del usuario.

VENTAJAS

- *Velocidad en su construcción.*
- *Mayor vida útil con alto índice de servicio.*
- *Mantenimiento mínimo.*
- *No se deforma ni deteriora con el tiempo.*
- *Requiere menor estructura de soporte.*

INVESTIGACIÓN

Es necesaria la investigación continúa buscando analizar y desarrollar los diferentes tipos de pavimentos para estar a la vanguardia en tecnología de diseño, construcción y alternativas de solución para proyectos específicos mediante pruebas de laboratorio y en tramos de prueba experimentales para estudiar y comprobar cada una de las propuestas.

b) CAMINOS RURALES DE PAVIMENTACIÓN PROGRESIVA

México es un país que cuenta con una superficie territorial de aproximadamente 2 millones de km², tiene un gran potencial para el desarrollo al contar con

importantes recursos naturales que necesariamente se tienen que aprovechar para alcanzar el grado de desarrollo que actualmente se necesita para poder satisfacer las necesidades que la población requiere.

Hoy en día, se cuenta con una extensa red de caminos que resulta insuficiente para realizar el transporte de las materias primas y de los productos que de ellas se elaboran, lo que constituye un freno para la actividad económica del país.

La infraestructura vial actual, resulta insuficiente por dos causas principales:

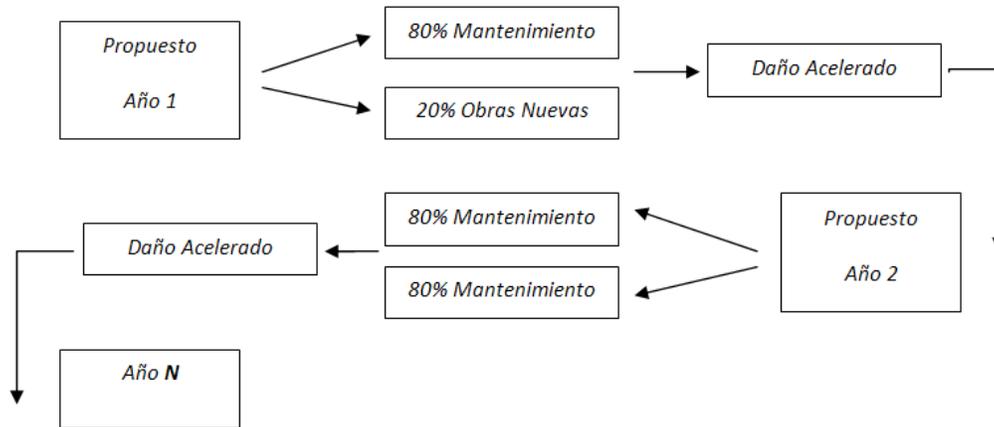
- *Cantidad de los caminos.*
- *Estado físico de los caminos existentes.*

Ambos problemas se encuentran ligados estrechamente dado que mientras más cantidad de caminos se requieran, mayor será la cantidad de recursos necesarios para invertir en la creación de infraestructura vial nueva, pero se tiene el problema de que los caminos que ya se encuentran en operación demandan una importante cantidad de recursos para mantenerlos en condiciones de servicio.



Lo anterior, obliga a tomar decisiones que no necesariamente son las más adecuadas dado que se invierten grandes cantidades de recursos en un mantenimiento que no soluciona los problemas fundamentales de los caminos en operación y son recursos que deberían estar siendo utilizados para la creación de infraestructura nueva de acuerdo con las demandas que hoy en día se tienen en el país.

Los caminos secundarios y rurales, generalmente reciben constantes mantenimientos que se traducen en gastos que no benefician a la región, dichos gastos, a través de una correcta planeación, se pueden convertir en inversiones que reeditarían en el corto plazo al mantener el camino en buenas condiciones de servicio y en el mediano y largo plazo al dejar una estructura preparada recibir mayor volumen y peso de tránsito al colocar sobre de lo que ya se construyó una superficie de rodamiento con un material que garantizaría una vida útil mayor y finalmente a menor costo que las alternativas que comúnmente se utilizan con lo que se solucionarían los problemas de servicio del camino y la inversión adecuada de los recursos realizada en el momento en el que la región lo demande.



La alternativa clara para este tipo de caminos, es la de realizar la construcción de los pavimentos a medida que su importancia lo amerite disponiendo de los recursos a medida que se vayan necesitando sin tener que realizar grandes inversiones en una estructura que posiblemente se encuentre sobrada para los requerimientos del momento, pudiendo disponer de los recursos adicionales para invertirlos en obras nuevas o de mayor prioridad, teniendo a fin de cuentas ahorros en los flujos de efectivo del momento y en los flujos futuros al reducir de manera considerable los gastos de mantenimiento, conservando en todo momento los caminos en buenas condiciones de servicio y construyendo nueva infraestructura vial de calidad a través de una buena planeación. Éste es el concepto de los pavimentos progresivos.

El método de pavimentación progresiva rompe con el paradigma de alto costo de construcción inicial para lograr durabilidad en los caminos rurales y permite aprovechar las inversiones futuras para continuar con las etapas constructivas del pavimento en vez de erogar esos recursos en el mantenimiento propio de la vía. Por lo que viene a resolver la situación actual de los caminos rurales y secundarios.

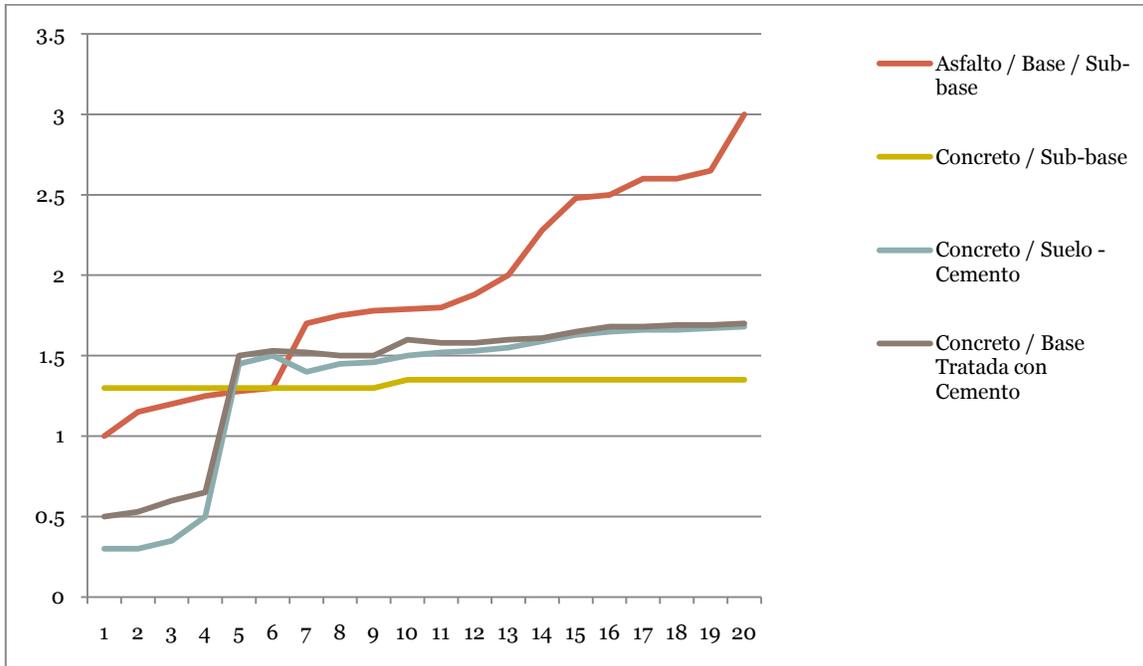
La recomendación de un camino rural de pavimentación progresiva aplica cuando:

- *Hay un alto potencial de crecimiento en volumen y peso del tránsito.*
- *Está ligado a un esquema de financiamiento a futuro.*
- *Se requiere diferir la inversión inicial.*
- *Se requiere evitar el círculo vicioso de gastos de mantenimiento.*

Dentro del concepto de pavimentos progresivos, se tienen una gran cantidad de alternativas para satisfacer las necesidades de un proyecto en particular.

A continuación se presenta una gráfica comparativa de los costos relativos de inversión inicial, para diferentes alternativas, donde se puede apreciar que una

reducción considerable en los costos de pavimentos progresivos tanto a corto como a largo plazo.



c) LA CARRETERA MÁS SUSTENTABLE

Una carretera será más sustentable si:

- *Es ampliamente permeable y facilita el paso de la fauna y del agua en dirección transversal al eje de la traza.*
- *La solución construida reduce al máximo los costos de conservación y mantenimiento.*
- *Los terraplenes son de altura moderada.*
- *Las estructuras están bien integradas en el paisaje.*
- *El trazado, especialmente las pendientes empleadas, minimiza el gasto de combustible de los vehículos usuarios.*
- *Optimiza la compensación de volúmenes de desmonte y terraplén.*

- *Minimiza la obtención de préstamos.*
- *Optimiza la valorización de residuos empleándolos como materiales mediante procesos de reciclado, disminuyendo así los volúmenes de vertedero.*
- *Emplea suelos y explanadas estabilizadas con cemento o mediante cal y cemento.*
- *Utiliza estructuras más sustentables empleando concreto en masa, armado o pretensado.*
- *Emplea firmes rígidos de concreto.*
- *En el firme utiliza materiales granulares tratados con cemento.*
- *Cuando sea procedente, se rehabilita la carretera existente mediante el empleo, en frío, de cemento como conglomerante.*
- *Se controla, y en su caso se trata, el agua de la red de drenaje antes de verterla.*
- *Se dispone de un estudio de impacto ambiental con las medidas correctoras a que haya lugar.*
- *Se realizan las obras bajo un Plan de Seguridad y Salud en obra que tiene como objetivo la erradicación de accidentes.*
- *La maquinaria, los medios auxiliares y los procedimientos empleados en la construcción están sometidos a un plan para minimizar los costos y para minimizar, también, el consumo de energía no renovable y de combustible emisor de gases de efecto invernadero.*
- *Los procesos de ejecución empleados en la construcción están sometidos a un plan para maximizar la productividad.*
- *Minimiza el consumo de agregados naturales.*
- *Se utilizan agregados (grava, gravilla y arena) procedentes de procesos de reciclado.*
- *Se recuperan zonas de cantera después de realizar en ellas las correspondientes actividades de tipo extractivo.*

- *Todo el proceso, tanto la obtención de materias primas como de fabricación de materiales y el propio proceso de construcción, se desarrolla, voluntariamente, bajo un sistema de gestión ambiental certificado.*
- *Se utilizan cementos con adiciones.*
- *Se utilizan cementos producidos bajo directrices que emanan de marcos jurídico-administrativos fundamentados en el cumplimiento del protocolo de Kyoto.*
- *Se utilizan cementos obtenidos por procesos que incorporen materias primas que produzcan menos emisiones de CO₂, o que consuman menos energía proporcionada por combustibles primarios (fósiles), o que empleen combustibles alternativos (no fósiles), o que se obtengan mediante procesos que consumen, valorizándolos como combustibles, residuos industriales o de cualquier otro tipo que son, así, recuperados.*
- *Se optimiza la calidad del concreto y se reduce la cuantía de las armaduras.*
- *Se emplea, en la fabricación del concreto, agua reciclada.*
- *Se reduce el consumo de materiales de modo compatible con el cumplimiento de las exigencias de durabilidad.*
- *Se emplea concreto de calidad tal que permite aumentar la vida útil de las estructuras.*
- *La innovación en los materiales y en los procedimientos de ejecución empleados permite aumentar la productividad, la competitividad y la eficiencia en el acceso del usuario a la carretera.*

Para abordar la sustentabilidad de la carretera hay que contemplar ésta como lo que es, una inversión a largo plazo en la que el costo de ejecución es simplemente el costo de la inversión inicial.

El costo real, el costo para la sociedad, es el costo total calculado a largo plazo y se deberá sumar al costo de ejecución el correspondiente a la conservación y mantenimiento a lo largo de la vida útil o vida de servicio, así como los costos de explotación que equivalen a los costos en que incurren los usuarios cuando la utilizan durante dicha vida útil. Obviamente, el planteamiento económico expuesto corresponde a una carretera pública en la que no se producen ingresos directos de explotación.

Este planteamiento económico, que es bien claro, equivale, en otros términos, al balance, a lo largo de la vida útil, de los aspectos sociales, energéticos o medioambientales propio del análisis de la sustentabilidad.

El análisis de la sustentabilidad de la carretera permite elegir y decidir con una visión global y evidencia la necesidad de utilizar criterios, también criterios económicos, que evalúen y valoren la carretera a largo plazo.

La mayoría de los técnicos encargados de la toma de decisiones están convencidos de que, a largo plazo, las carreteras de concreto hidráulico muestran mayores beneficios y que en términos económicos son la solución más favorable cuando se considera el costo total de mantenimiento durante toda su vida útil. Esta afirmación se refuerza cuando se consideran los costos de los usuarios, ya que el concreto requiere un mantenimiento mínimo y, por lo tanto, no provoca interrupciones a los usuarios de la vía. No obstante, actualmente es de vital importancia demostrar que las carreteras de concreto hidráulico son beneficiosas para el medio ambiente y que pueden aportar soluciones aceptables para la sociedad en lo que a movilidad se refiere.

Los puntos fuertes de los pavimentos de concreto han sido descritos desde la perspectiva de los tres pilares del desarrollo sostenible: el medio ambiente, la economía y la importancia social. Para evaluar el comportamiento de los pavimentos de concreto en función de cada uno de estos campos debe tenerse en cuenta todo el ciclo de vida del firme.

Desde esta perspectiva ha quedado demostrado que actualmente estos pavimentos son perfectamente compatibles con una filosofía de construcción sustentable, aunque existe margen para mejorar algunos aspectos. Se están llevando a cabo numerosas investigaciones y estudios como parte del proceso del desarrollo técnico de esta solución que además debe estar vinculada con las expectativas de la sociedad moderna.

Habida cuenta de la gran influencia de la vida útil en la sustentabilidad, es esencial que las características del concreto hidráulico como material y sus aplicaciones en la construcción de carreteras no se vean comprometidas por medidas que priorizan los beneficios medioambientales, económicos y sociales a corto plazo.

Apostar por los pavimentos de concreto hidráulico requiere la misma valentía, reflexión y visión a largo plazo que conlleva elegir una construcción sustentable.

“Elegir pavimentos de concreto hidráulico en la construcción de carreteras es optar por una solución sustentable”.

BIBLIOGRAFIA

1. *PIARC.*

“Memorias del Octavo Simposium Internacional de Pavimentos de Concreto”.
Permanent International Association of Roads Congress, Portugal, Lisboa
1998.

2. *IMCYC – FICEM.*

“Primer Foro Interamericano de Pavimentos de Concreto Hidráulico”. Instituto
Mexicano del Cemento y el Concreto - Federación Interamericana del
Cemento, México 1998.

3. *SALAZAR, AURELIO.*

“Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos”.
IMCYC, México 1998.

4. *PIARC.*

“Memorias del Vigésimo-primer Congreso Internacional de Carreteras”.
Permanent International Association of Roads Congress, Kuala-Lumpur,
Malasya 1999.

5. *CRESPO, CARLOS.*

“Mecánica de suelos y cimentaciones”.
Editorial Limusa, México 1991.

6. *CAL Y MAYOR, RAFAEL.*

“Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones”.
Alfaomega Grupo Editor, México 1998.

7. *M. EN C. DANIEL DÁMAZO JUÁREZ*

Conferencia: “Edificación Sustentable y Concreto Hidráulico, un material
amigable”

Director General del IMCYC, alianza FIIDEM, México 2012.

CITAS A PÁGINAS WEB

1. *García, Luis.*

www.icpa.org.ar/seminario_piarc/sesiones01.html

Construcción Sostenible. “Reflexiones sobre la construcción de Pavimentos en México”.

2. www.hormigones.cl/index.php?option=com_docmen.

“Hormigón: un material para aumentar la sostenibilidad de la construcción”.

3. *Mendoza, Gregorio.*

www.imcyc.com/ct2009/abr09/MEJOR.pdf

“Hacia una construcción sustentable de pavimentos de concreto”.

4. www.imcyc.com/revistacyt/mar10/sustenta.htm.

“Sustentabilidad”

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C., 2009.

5. *Salgado, Mauricio.*

www.ich.cl

“Sustentabilidad y Gestión de Infraestructura”

Instituto del Cemento y de Hormigón de Chile, 2012.

6. *Rens, Luc.*

www.oficemen.com.

“Pavimentos de Hormigón: una alternativa inteligente y sostenible”

Agrupación de Fabricantes de cemento de España.

GLOSARIO

Acuaplaning.- Fenómeno que se presenta cuando los neumáticos de los vehículos pierden contacto con la superficie de la carretera.

Aglomerantes.- Son materiales capaces de unir fragmentos de una o varias sustancias y dar cohesión al conjunto por métodos exclusivamente físicos; en los conglomerantes es mediante procesos químicos.

Aireantes.- Se incluyen en la masa de concreto infinidad de burbujas de aire uniformemente repartida y que hacen aumentar la resistencia de los concretos a las heladas y agentes agresivos, resultando más impermeables.

Compactación.- El suelo colocado en bases de carreteras, terraplenes, se compacta a un estado denso para obtener propiedades geotécnicas apropiadas como resistencia al corte, compresibilidad y permeabilidad entre otras.

Concreto armado.- Consiste en la utilización concreto reforzado con barras o mallas de acero, llamadas armaduras.

Concreto presforzado.- Construcción de elementos estructurales de concreto sometidos intencionadamente a esfuerzos de compresión previos a su puesta en servicio. Dichos esfuerzos se consiguen mediante cables de acero que son tensados y anclados al concreto.

Conglomerante.- Material capaz de unir fragmentos de uno o varios materiales y dar cohesión al conjunto mediante transformaciones químicas en su masa que originan nuevos compuestos. Los conglomerantes son utilizados como medio de ligazón, formando pastas llamadas morteros o argamasas. Los conglomerantes más utilizados son el yeso, la cal, y el cemento.

Efectos de fatiga.- Fenómeno por el cual la rotura de los materiales bajo cargas dinámicas cíclicas se produce más fácilmente que con cargas estáticas.

Emulsión asfáltica catiónica.- Se define como una dispersión fina más o menos estabilizada de un líquido en otro, los emulsificantes catiónicos son generalmente grupos aminos con carga eléctrica positiva.

Ensayo proctor modificado.- Se emplea para determinar la relación entre la humedad y el peso unitario seco de los suelos compactados.

I+D+i.- Investigación + Desarrollo + innovación.

Índice de perfil.- También conocido como índice de regularidad internacional (IRI) (en inglés International Roughness Index) es un parámetro que se utiliza en

firmes, para determinar su regularidad o rugosidad y la comodidad en la conducción.

Noxer.- Los bloques de Noxer son bloques de mortero de cemento con una fina capa de 5 a 7 mm de óxido de titanio (IV), el cual actúa como un fotocatalizador que usa la luz del sol para absorber óxidos de nitrógeno muy contaminantes (NO y NO₂) en nitratos inocuos que son lavados del pavimento debido al agua de lluvia.

Pasajuntas.- En los pavimentos de concreto hidráulico, barras de acero colocadas entre las juntas, las cuales tienen como función asegurar la adecuada transferencia de carga entre las losas que se forman al ranurar el concreto.

Pavimento.- Es la capa constituida por uno o más materiales que se colocan sobre el terreno natural o nivelado, para aumentar su resistencia y servir para la circulación de personas o vehículos. Entre los materiales utilizados en la pavimentación urbana, industrial o vial están los suelos con mayor capacidad de soporte, los materiales rocosos, el concreto y las mezclas asfálticas. En la actualidad se encuentra en investigación pavimentos que ayudan al medio ambiente como el formado por noxer.

PVSM.- Peso Volumétrico Seco Máximo, se obtiene a través de la prueba de valor relativo de soporte.

Subrasante.- Es una capa en la estructura que se encuentra debajo de la losa de concreto hidráulico y de la sub-base y que está encargada de soportar y disipar los esfuerzos necesarios para el tráfico en la obra a realizarse.

Terraplén.- Se denomina terraplén a la tierra con que se rellena un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra.