

Valoración de mezclas asfálticas fabricadas en planta y en caliente con asfaltos modificados con látex UP70 SBR



Abstract

The actual condition in which the principal roads of the country are, has taken the public works authorities to take action so that they can correct and avoid those inconvenients on the future road works. That`s why during the construction of the improvement of the 23 national road, Interamericana-Caldera section, the inclusion of polymers in the asphaltic mix to be placed in the construction was established. Taking advantage of this situation it was proceeded to colect the design and production data ,rehearsed by the involved labs in the process, to be able to value the behavior of one asphaltic mix fabricaded in its plant and in hot, modified with latex UP70SBR. This valoration was done through the diametral tension and retained resistance results, wich allowed to conclude that the polymer influences favorably in its durability.

The process of colocation was visualized and documented, which allowed to reflect a series of differences in the behavior of the modified mix in comparison to a virgin mix like the little energy thats needed to give the required compactation grade and the shown lost of workability.

Key Words: Polimers, latex UP70SBR, modified asphaltic mix.

Resumen

El actual estado en el que se encuentran las principales vías del país, ha llevado a las autoridades de obra pública a tener que tomar medidas con el fin de corregir y evitar dichos inconvenientes en las futuras obras viales. Es por ello, que durante la construcción del mejoramiento de la ruta nacional 23, sección Interamericana Norte-Caldera, se estableció la inclusión de polímeros en la mezcla asfáltica a colocar en la construcción. Aprovechando dicha situación se procedió a recolectar los datos de diseño y producción, ensayados por los laboratorios involucrados en el proceso, para poder valorar el comportamiento de una mezcla asfáltica fabricada en planta y caliente, modificada con látex UP70SBR. Esta valoración se realizó por medio de los resultados de las pruebas de tensión diametral y de resistencia retenida, las cuales permitieron concluir que el polímero influye favorablemente en la durabilidad de la misma. Se visualizó y documentó el proceso de colocación, que permitió reflejar una serie de diferencias en el comportamiento de la mezcla modificada con comparación a una mezcla virgen, como lo es la poca energía que se necesita para dar el grado de compactación requerido y la pérdida de trabajabilidad mostrada.

Palabras Claves: Polímeros, látex UP70SBR, mezcla asfáltica modificada.

Valoración de mezclas asfálticas fabricadas en planta y en caliente con asfaltos modificados con látex UP70 SBR

RODRIGO ARIEL FERNÁNDEZ CALVO

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

PREFACIO	1
RESUMEN EJECUTIVO.....	2
INTRODUCCIÓN.....	5
METODOLOGÍA.....	7
AGENTE MODIFICADOR	9
TIPO Y CARACTERÍSTICAS.....	9
INCORPORACIÓN A LA MEZCLA	9
DOSIFICACIÓN	10
RESULTADOS	11
DATOS DE LOS DISEÑOS.....	11
DATOS DE PRODUCCIÓN EN PLANTA	12
DATOS DE COLOCACIÓN.....	15
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	16
DISEÑO	16
PRODUCCIÓN.....	18
ESTABILIDAD Y FLUJO.....	18
TENSIÓN DIAMETRAL Y RESISTENCIA RETENIDA.....	19
MÓDULO RESILENTE	20
COLOCACIÓN	21
TEMPERATURA	21
COMPACTACIÓN	21
TRABAJABILIDAD	22
CONCLUSIONES	24
APÉNDICES.....	25

ANEXOS.....35
REFERENCIAS101

Prefacio

En los últimos años, el país se ha dedicado a realizar reparaciones en vías que durante algún tiempo se mantuvieron en el olvido de muchos. Es por ello que se llegó a un punto donde la mayoría de carreteras en Costa Rica, presentaban algún tipo de deterioro y en otros casos el caos total de la estructura.

Es en ese momento donde el país sufre un cambio en la forma de pensar y se empieza a implementar programas de mantenimiento y de rehabilitación de las principales carreteras. Si bien, la falta de mantenimiento de las vías produce su falla en un menor lapso, últimamente se ha trabajado en técnicas y productos que ayuden a los materiales usados en la creación de las mismas a optimizar las características principales para mejorar el comportamiento general de las carreteras.

Esto se puede evidenciar con los estudios realizados en gran cantidad de países sobre las posibles modificaciones hechas en los componentes de las mezclas asfálticas, que son en la mayor parte de las ocasiones el material con el que se construye las carreteras.

Es una obligación de las entidades administrativas del país, el incentivar y promover, técnicas e implementaciones que en otros sitios se realizan con continuidad como lo son el uso de polímeros en las mezclas asfálticas.

El uso de los polímeros en la mayoría de las ocasiones está definido por las casas proveedoras y distribuidoras de asfalto, esto ya que generalmente el asfalto es suministrado ya modificado. En Costa Rica, el suministro de asfalto es brindado por la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), en estado virgen y con variaciones en sus propiedades específicas dependiendo del lugar de donde se importe el embarque correspondiente.

A pesar de esto, nuestro país ha implementado formas que permitan situaciones donde se utilicen modificaciones en las mezclas asfálticas con polímeros, con el fin de conseguir mejoras en su comportamiento en nuestras condiciones. Pero debemos recordar que los ambientes que rodean el uso de las mezclas asfálticas dependen de varios agentes, que afectan directamente en su proceder y que varían dependiendo del sitio de uso, por lo que solamente con la documentación en estas situaciones se podrá tener una visión del comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas en nuestro círculo.

Es por ello que es de suma importancia el valorar y documentar el comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero producida y colocada en nuestras condiciones y poder medir así, los efectos positivos y negativos de la modificación de las mezclas en nuestras condiciones.

Dado la importancia de estudiar y documentar este tipo de información, le agradezco al personal de los laboratorios ITP y OJM que suministraron la obtención de datos para realizar este informe. También le doy las gracias al Ing. Oscar Julio Méndez Soto que sin ningún tipo de interés me ayudó y guió durante todo el estudio realizado; y al amigo ingeniero, Mario González, Gerente de Proyecto, por brindarme la oportunidad de realizar esta investigación en su obra.

Resumen ejecutivo

Los avances tecnológicos y uso de nuevas metodologías en productos constructivos o en procesos de construcción es algo de mucha naturalidad hoy en día, con el fin de brindar al usuario, un mejor servicio, comportamiento y un rendimiento superior de las obras. Un ejemplo claro del uso de estas nuevas tecnologías, es el uso de polímeros como agentes modificantes de mezclas asfálticas.

Los polímeros son sustancias que se le añaden a los asfaltos para que su comportamiento se asimile lo más posible al comportamiento de un asfalto ideal, implicando esto, un mejor comportamiento de la mezcla asfáltica, ofreciendo un comportamiento superior hasta el obtenido en días pasados.

El Estado, se ha dado cuenta de que este tipo de tecnologías aplicadas en otros países, han dado resultados por encima de los obtenidos de la utilización de mezclas asfálticas convencionales. También, observando los serios problemas que ha tenido el país, en lo relacionado a materia vial, se ha tomado la decisión de promover y exigir, el uso de este tipo de producto en las construcciones que se realizaron hace unos pocos días atrás.

Durante la rehabilitación de la Ruta No.23, se exigió por parte de la administración de la obra, el uso de polímero como agente modificante, en la producción de la mezcla asfáltica. Los polímeros se dividen en dos grandes grupos: los plastómeros y los elastómeros. En este caso la escogencia del polímero quedó a criterio del contratista, siempre y cuando su uso garantizara los requerimientos explícitos en las especificaciones de la obra. El contratista de este proyecto, Constructora MECO S.A, tomó la decisión de utilizar una dispersión líquida, constituida de un 70% de sólidos (estireno y butadieno) y un 30% de agua; perteneciente al grupo de los elastómeros, llamado látex UP70SBR, el cual no posee antecedentes que indiquen que se haya utilizado anteriormente en el país.

Esto hace de suma importancia el haber estudiado, el verdadero uso de estas tecnologías, que si bien son utilizadas en otros sitios o lugares, se debió de medir, su aplicación en procesos y construcciones dados en nuestras condiciones, que permitieron, documentar criterios de uso y comportamiento, para futuras experiencias.

Los ingenieros en construcción, forman parte de los profesionales que están sumamente conectados con usos de nuevos productos y aplicaciones de procesos diferentes. Son parte de un selecto grupo que por su formación y campo laboral, deben de presentar un amplio criterio y una rápida adaptación a nuevas tecnologías en cualquiera de las partes en las que se dividen los proyectos: planeación, ejecución y control. Para ello se necesita estar informado y anuente a investigar sobre los temas que se desconocen. Como el aprender es una tarea de todos los días, no se pudo dejar pasar una oportunidad de documentación, de este nivel, ya que en un futuro esta información, puede ser utilizada como guía para profesionales que no cuentan con experiencias en este tipo de productos y sus usos.

El poder documentar el proceso llevó a plantear una serie de objetivos con el fin de buscar una respuesta que permitiera el valorar en este caso el comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR, producida en planta y en caliente. La valorización se realizó por medio de tres medidas: durabilidad, cambios temperatura y compactación.

La durabilidad de la mezcla asfáltica modificada, se realizó por medio de los resultados de laboratorio, de los ensayos de tensión diametral y de resistencia retenida, los cuales se llevaron a cabo durante toda la producción de mezcla asfáltica. Dicha producción se extendió desde el 21 de julio del 2006 hasta el 13 de octubre del mismo año, produciendo un total de 43,305.20 toneladas. Para cada uno de los ensayos se realizó un promedio de 11

pruebas por cada laboratorio. Esto porque existía un laboratorio encargado del autocontrol de calidad y otro de verificación de calidad. Los resultados asegurados por el 85% de los valores obtenidos en los ensayos fueron: 86.85% en el caso de la tensión diametral y de 87.25% con respecto a la resistencia retenida. Una vez que se compararon estos valores con los presentados en el diseño oficial de la mezcla asfáltica sin polímero, se identificó, un aumento de 13 puntos porcentuales en el ensayo de la tensión diametral y de 13.4 puntos porcentuales, en el caso de la resistencia retenida, con el uso del látex UP70SBR.

Durante todo el proceso de fabricación de la mezcla asfáltica modificada se controló de igual manera que las demás variables registradas por laboratorio, las temperaturas en el transcurso de la producción en planta y en caliente y las temperaturas de colocación y compactación en sitio. Esto, ya que antes de iniciar el uso del producto, los proveedores del mismo, mencionaron los posibles problemas o consecuencias que había ocasionado en otras utilidades. En este caso en particular, no se mostraron divergencias con las temperaturas de producción en planta, causadas por la inyección del látex en el asfalto. Pero una vez que la mezcla salía de la planta sí se pudo identificar una pérdida temprana del gradiente térmico presente en esta mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR. La temperatura a la cual la mezcla asfáltica llegaba al sitio de colocación era alrededor de 15° C menor que la temperatura cuando iniciaba el acarreo desde la planta, cabe destacar que la distancia de acarreo promedio era de 8 Km. El tiempo que duraba un camión en desplazarse de un lugar al otro era cerca de 15 a 20 minutos, lo que hacía que la mezcla asfáltica modificada presentara una acelerada pérdida de temperatura.

Con respecto a la compactación se pudo observar un comportamiento muy distinto al presentado por las mezclas convencionales. En este caso se pudo documentar una disminución en la energía de compactación que presentaba este tipo de mezclas asfálticas modificadas con látex UP70SBR. Esto se mostró con la compactación de la primera capa de mezcla asfáltica sobre una base mejorada con cemento Pórtland, en esta ocasión se tomó un patrón de compactación de dos pasadas del compactador sin vibrar, y una pasada vibrando. Con este

patrón se llegó a obtener compactación entre el 92% y el 97%. Cuando se empezó a colocar la segunda capa o complemento del espesor terminado, se tuvo que cambiar el patrón de compactación, debido que se estaba compactando la segunda capa sobre la mezcla asfáltica modificada colocada en la capa anterior lo que implicó el uso de menos energía, variando el patrón a una pasada del compactador sin vibrar y otra con vibrador para llegar a obtener valores dentro del intervalo indicado anteriormente. Asimismo, se estableció una similitud entre los datos obtenidos de la medida de la compactación en sitio, por medio del densímetro nuclear y los datos obtenidos en el laboratorio por el respectivo análisis de los núcleos extraídos de la mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR colocada. Esto basado en los promedios de los valores alcanzados, los cuales estuvieron en el orden de 94% para los tomados con el densímetro y de 93.80% para los analizados en laboratorio.

Además, se alcanzaron diferencias en la propiedad elástica de la mezcla modificada con látex, en comparación con la mezcla diseñada con asfalto virgen. Esta propiedad se pudo diferenciar mediante los valores obtenidos en el ensayo del módulo resiliente, los cuales fueron realizados por el LANAMME. En ellos se mostró un aumento en condiciones de alta temperatura, haciendo la mezcla asfáltica modificada más apta para evitar las deformaciones permanentes.

De la misma manera se logró documentar una divergencia en la trabajabilidad de la mezcla asfáltica modificada. Según los trabajadores que se desempeñaron en la colocación de ésta, la manipulación mostrada, es muy diferente a la mostrada por las mezclas convencionales. La mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR, fue catalogada por los trabajadores como una mezcla que absorbe una mayor fuerza de los empleados para poder ser manipulada, la calificaron como una mezcla de alta cohesión y de alta adherencia, por lo que la hace una mezcla asfáltica que de ser posible, debe de colocarse y dar acabado con la máquina pavimentadora, evitando la colocación manual.

En conclusión la mezcla asfáltica producida en planta y en caliente, modificada con látex UP70SBR, es una mezcla que brindó una mayor cohesión y una disminución a la susceptibilidad, a entrar en contacto con el agua. Presenta un cambio en el comportamiento del

gradiente térmico, que produce una pérdida de temperatura mucho más agilizada que una mezcla convencional. Al mismo tiempo, se caracteriza por ser una mezcla de baja energía de compactación y que permite obtener con ayuda del densímetro nuclear, datos de compactación en campo, muy similares a los valores analizados en el laboratorio.

Se estableció una pérdida de trabajabilidad, ocasionada por el problema de la temperatura y de la adherencia, haciéndola una mezcla asfáltica distinta a la convencional, llevando esto a una planeación de actividades diferentes y a un proceso mucho más eficiente y ordenado para evitar problemas en la colocación de la misma.

Introducción

Actualmente uno de los problemas más grandes que tiene nuestro país, es el estado tan deteriorado en el que se encuentran nuestras carreteras. La red con la que cuenta actualmente nuestro país fue en su mayoría construida entre el año de 1950 y el año 1975. Esta red se llevó a cabo en una época bajo condiciones muy diferentes a las que están siendo sometidas en la actualidad, aparte de esto, el periodo de diseño que fue contemplado en su momento para dichos proyectos fue de 10 años, en los cuales no se le dio ningún tipo de mantenimiento, ocasionando que la vida útil de los mismos se viera disminuida. Cabe rescatar que todo este plan se construyó con mezclas asfálticas en caliente las cuales se encuentran marcadas por un deterioro desarrollado por la falta de mantenimiento.

Un ejemplo claro del cambio de mentalidad del país se puede observar con la serie de programas de mejoramiento vial entre los que podemos nombrar el programa “Cero Huecos”; mas esto no borra el serio problema que vive Costa Rica con respecto al estado de las principales vías de comunicación por las cuales transita y se mueve la mayor cantidad de viajeros así como de productos. Algunos de los diversos síntomas que diariamente le cortan la respiración a la red vial nacional son carreteras en mal estado, con una capacidad insuficiente para responder al flujo vehicular, una red, cuya vida útil le pasa la factura a la población costarricense causado por un retraso general en cuanto al mejoramiento de las mismas, pues mientras los vehículos han crecido un 300%, el desarrollo de éstas apenas ha aumentado un 5% en las últimas décadas.

Es por ello que se ha pensado en soluciones que permitan dar un mejor servicio y que a la vez sean aplicables a la realidad que sufre el país; que de no solucionar y corregir estas deficiencias no se podrá alcanzar la complejidad y el desarrollo requerido para competir con otros países.

Entre los mejoramientos que se han venido interviniendo está: el ampliar las calzadas, con el fin de distribuir las cargas sobre la estructura en una mayor área de ruedo, el deterioro en las capas inferiores a la superficie de rodamiento como es la base, la subbase y en ocasiones hasta en la subrasante es otro problema que muy comúnmente se observa en nuestra red y que se ha tratado de corregir utilizando técnicas como: hacer más rígido las capas de los distintos materiales con el fin de dar una mayor capacidad de soporte como por ejemplo la estabilización de base granular con cemento tipo Pórtland. Cabe aclarar que estos dos problemas no forman parte del alcance de este estudio pero se considera de importancia mencionarlas.

Otra solución que se ha estado implementado es la modificación de asfaltos con polímeros, para asegurar el mejor comportamiento de la mezcla asfáltica con respecto a la durabilidad, esta es una técnica muy utilizada en la actualidad en otros países como por ejemplo Estado Unidos y México, y según las investigaciones realizadas el comportamiento de la mezcla es mucho mejor.

La vía que se extiende desde la Interamericana Norte (Subasta Ganadera) hacia el puerto de Caldera, hace unos meses atrás se encontraba abandonada con serios problemas de deformaciones, huecos, drenaje, señalización entre otros; lo cual era de gran preocupación para las autoridades pertinentes. Es por eso que el MOPT estableció un ente encargado de la construcción y rehabilitación de toda la costanera el cual llamó Unidad Ejecutora Costanera la cual al observar y analizar los problemas que presentaba la vía estructuralmente tomó decisiones tales como ampliar la sección típica en ciertos tramos, mejorar la capa de base actual con cemento tipo Pórtland (estos dos puntos no serán tema de análisis de este estudio), y colocar una nueva mezcla asfáltica producida en planta y en caliente con asfalto modificado con polímero tipo látex UP70SBR con el fin de dar mayor

durabilidad a la carpeta; siendo este último el tema de estudio de dicho proyecto. La obra vial que se extiende desde Interamericana (Ruta Nacional 1) a la Intersección hacia el Puerto de Caldera se compone de la colocación de 43,000.00 toneladas de mezcla asfáltica modificadas con el polímero ya descrito a lo largo de sus 11.7 Km., convirtiéndolo en un proceso que presentará una continuidad y uniformidad que permitirá obtener resultados que permitan valorar el comportamiento de este tipo de mezclas producidas en planta y en caliente, utilizando el polímero Látex UP70SBR como ente modificante.

Se debe recordar que en Costa Rica la gran mayoría de mezclas asfálticas son realizadas sin utilización de polímeros, por lo que no se cuenta con documentación controlada en obra, de mezclas modificadas; en este caso con Látex UP70SBR. Si se debe resaltar que en otras obras como por ejemplo Los Accesos al Puerto de Caldera se utilizó polímero para modificar la mezcla asfáltica pero de diferente tipo. Es por ello que se aprovechó la oportunidad de contar con un proceso de larga producción aplicado a la realidad constructiva del país para valorar el comportamiento de la durabilidad de la mezcla asfáltica modificada con polímero látex UP70SBR en condiciones de proyecto, y así poder observar y documentar el comportamiento de una mezcla producida en planta y caliente con asfaltos modificados con el polímero descrito.

Es importante aclarar que en nuestro país el ente encargado de la venta de asfalto es RECOPE y dentro de sus productos no cuenta con la venta de asfaltos modificados con polímeros de ningún tipo por lo que el análisis se llevará a cabo sobre la mezcla asfáltica modificada y no sobre asfaltos modificados, llevando este estudio a basarse en las pruebas realizadas a la mezcla asfáltica producida. Se tomó las pruebas de la razón de resistencia retenida y de la tensión diametral como los ensayos mediante los cuales valoraremos la durabilidad de mezcla asfáltica modificada contra los diseños propuestos y aprobados por la Unidad Ejecutora con el objetivo de determinar las diferencias tanto contra el diseño de mezcla virgen como el modificado para medir el mejoramiento provocado y la variación de resultados en planta contra laboratorio.

También se aprovechará la oportunidad para identificar cambios en las temperaturas de

producción y de colocación en mezclas modificadas con Látex UP70SBR con respecto a mezclas vírgenes, esto por recomendaciones que se dan por parte del proveedor del polímero y basado en experiencias en otras obras y países.

Como se puede observar el uso del Látex UP70SBR como agente modificador de mezclas asfálticas causa algunos cambios que si bien son advertidos o mencionados en referencias bibliográficas o caracterizaciones del producto por parte de los distribuidores, es de mucho interés el poder identificar y documentar en un proceso presente en nuestras condiciones, por lo que se decidió estudiar mediante la medida de la densidad en sitio el comportamiento de la mezcla asfáltica modificada con Látex UP70SBR en el proceso de colocación.

Todo con finalidad de poder tener en el futuro, una referencia del comportamiento de este tipo de mezclas en el país; ya que como se mencionó anteriormente existe muy poca obra realizada bajo estos procesos de producción.

Metodología

El proceso bajo el cual se realizó el estudio se basó en el seguimiento del proyecto "Rehabilitación de la Carretera Costanera Sur, Ruta Nacional No. 23, Sección Interamericana-Caldera. En el cual se colocaron la cantidad de 43,305.20 Toneladas de mezcla asfáltica, modificada con polímero látex UP70SBR.

Lo primero que se realizó fue el correspondiente estudio de los diseños de mezcla asfáltica tanto con asfalto modificado como con asfalto virgen para poder obtener un análisis en las mismas condiciones de laboratorio y una visión de lo esperado en altas producciones con planta. Los parámetros que se analizaron en base en los diseños fueron: las Relaciones Volumétricas, las Variables Marshall, la Tensión Diametral, la Resistencia Retenida y los cambios producidos en el Módulo Resiliente. Para dicho proceso de análisis se utilizó documentos oficiales presentados por parte de Constructora MECO, empresa encargada de construir la obra, a la Unidad Ejecutora Costanera Sur (UE-C) encargada de llevar a cabo el desarrollo del proyecto. Dichos datos fueron tabulados de manera que se pueda ver las variables en las cuales se obtuvieron diferencias entre la mezcla modificada y la mezcla virgen, esto dado que cada diseño fue presentado en un documento diferente lo que hacía poco ilustrativo la comparación de variables entre ambos. Una vez tabulados los datos se procedió a la graficación de las variables donde se dio un cambio notable atribuible a la modificación de la mezcla látex UP70SBR.

Un aspecto de suma importancia y que no se debe pasar por alto para dicho estudio, es que los datos obtenidos de los diseños, no eran parte de revisión o formaban parte de los alcances del proyecto, por lo que se asumieron como buenos.

La producción de mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR para la obra mencionada anteriormente se inició el 21 de Julio de 2006, justamente con el paño de prueba, realizado en la zona de Caldera, específicamente en el carril derecho después de cruzar el puente del Estero de Mata Limón en el sentido Orotina-Barranca. Dicho paño tuvo una longitud de 590.00 metros y se colocaron la cantidad de 364.64 toneladas de mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR.

A partir de este momento y hasta el 13 de Octubre de 2006 se tuvo una producción continua de mezcla asfáltica la cual contó con un riguroso Control de Calidad por parte de los involucrados en el desarrollo de la obra, el contratista y la administración. Las pruebas que se realizaron se llevaron a cabo bajo las normas y directrices indicadas por la AASHTO y la ASTM, dependiendo del ensayo a realizar y bajo los más cuidadosos estándares de calidad y de control debido al proceso que en dicho momento estaban pasando los laboratorios de nuestro país, como fue la acreditación de las pruebas que realizó cada laboratorio ante el ECA. Los encomendados de controlar la producción de la mezcla asfáltica modificada producida en plata y en caliente fueron el Laboratorio de Ingeniería Técnica de Pavimentos (ITP) como responsable del autocontrol de calidad por parte del contratista y el Laboratorio Oscar Julio Méndez Soto como ente verificador por parte de la Unidad Ejecutora Costanera Sur. La producción de dicha mezcla se llevó a cabo en una planta de producción continua, desarrollada por la marca ASTEC y que presenta la característica de ser de doble barrel; situada en las instalaciones de PROCAMAR las cuales se ubican al costado norte del puente sobre el río Barranca, Ruta Nacional 1.

Durante todo este proceso de producción se fue recolectando la información de las pruebas que realizaron ambos laboratorios y se tabularon de manera que permitieran al final hacer un estudio estadístico para cada una de las fuentes que brindaron los datos, permitiendo de esta

manera comparar los resultados que se obtuvieron en condiciones controladas de laboratorio contra los datos expedidos en campo con producciones continuas. También se debe recordar que la repetición de las pruebas que se le deben realizar a la mezcla en este caso modificada con látex UP70SBR, se encuentra normalizada en documentos como: CR-77, MC83, AM-2001 entre otros; por lo que dependiendo de la prueba, se pueden tener ensayos con gran cantidad de datos, mientras que otras el rango de chequeo es mucho mayor por lo que se cuenta con una menor cantidad de ellos.

Se recuerda que la mezcla de esta obra tiene dos procesos, la producción, la cual, documentamos según lo descrito anteriormente y el otro que es la colocación de la misma, la cual se estudió en el mismo campo de acción dado a que se debe a una perspectiva más física y visual por parte de las personas que se dedican a dicha tarea, como lo es colocación de mezcla asfáltica en caliente. Es por ello que se aprovechó que el proyecto se dividió en dos tramos de 5.50 kilómetros cada uno, y a la vez el espesor a colocar se debió colocar en dos capas de 6.25 centímetros cada uno, esto ya que el espesor terminado de carpeta era de 12.50 + 0.50 centímetros. Esto lleva a poder dividir la obra en cuatro etapas de colocación de mezcla asfáltica, las dos primeras que corresponden a la puesta de los primeros 6.25 cm.; y las otras dos etapas que correspondía al complemento de espesor para asegurar el solicitado. Esta división permite indicar los límites de consulta acerca del comportamiento de la mezcla asfáltica por medio de entrevistas al personal clave que tenía una interacción más cercana con la mezcla y su trabajabilidad.

Otro control que se solicitó al final fue el detalle de las temperaturas de producción y de salida de planta, el cual es anotado en una bitácora que se encuentra desglosada por fecha situada en la cabina de la planta donde se produce la mezcla asfáltica, llevada por el operador de la misma. Este control unido al registro de temperaturas de colocación de la mezcla asfáltica en campo y fusionado a la experiencia de los trabajadores en esta actividad, nos permitió describir un patrón de la primera experiencia en nuestro país del comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con látex UP70SBR.

Finalmente después de obtener el material establecido anteriormente; datos, fotografías, impresiones, perspectivas entre otros, se procedió al desarrollo estadístico en el caso de los datos para poder ilustrar de la mejor manera posible los resultados logrados de dicho estudio. En el caso de las entrevistas y declaraciones de los involucrados se procedió a resumir y desarrollar las ideas con el propósito de poder extraer en el informe presentado a continuación los resultados alcanzados en dicha investigación.

Agente Modificador

Primero que todo, se debe tener que tener claro que existen dos grupos de clasificación para los polímeros: uno de ellos es los plastómeros (plásticos) y el otro los elastómeros (hules).

Tipo y Características

El agente modificador en esta mezcla asfáltica se encuentra dentro del grupo de los elastómeros, y es catalogado como una dispersión líquida. Estas dispersiones presentan características tales como aumento de la resistencia al ser estirados, recuperan su forma al soltarse y hacen los pavimentos más flexibles; las mismas son un conjunto de moléculas poliméricas, disueltas en agua, a las cuales se le llaman látex, compuestas de un 60%-70% de polímero y un 40%-30% de agua.

Este polímero es de un alto peso molecular y al encontrarse en estado líquido facilita la introducción en el proceso de mezclado. Las propiedades típicas del asfalto que se mejoran con la adición de este látex incluyen la susceptibilidad térmica, la ductilidad en bajas temperaturas, la cohesión y las propiedades de flujo y elasticidad en temperaturas y condiciones de carga específicas en las pruebas Superpave para ligantes, las cuales no son medidas bajo los ensayos utilizados en esta obra ya que aquí la mayoría de diseños se realizan bajo los estándares de las pruebas marshall. Este látex se identifica bajo la nomenclatura UP70SBR, (estireno y butadieno) y tiene las siguientes propiedades:

pH	9.5-11.0
Viscosidad, Brookfield	1000-2000
% Sólidos	70.0 + 1.0
% Estireno	24.0 + 1.0
% Butadieno	76.0 + 1.0
Densidad, lbs/galón	7.9 + 0.2

La dispersión es de color blanco y posee 10^{18} partículas dispersas y estabilizadas por litro de agua.



Fotografía 1. Polímero Látex UP70SBR empacado y listo para ser usado.

Incorporación a la mezcla

El UP70SBR es un producto que presenta varias opciones para ser incorporado en mezcla asfáltica. Se aclara que se debe de incorporar en el asfalto caliente.

La forma más habitual que se utiliza para incorporar el látex es inyectándolo en el tambor de mezclado a la par de la tubería del asfalto, siendo en el proceso de mezclado homogenizado con el asfalto y el agregado. Este es un sistema de muy bajo costo y es el mayormente usado en las plantas donde se incorpora este tipo de polímero. Este sistema trabaja de forma manual y debido a que los instrumentos utilizados para llevar a cabo la inyección, son calibrados y accionados desde el dispositivo mismo lo que produce un bajo costo de instalación y de accionar.

En este caso específico se le adaptó a la planta en la que se iba a producir la mezcla asfáltica modificada, un equipo especializado el cual fue construido y diseñado bajo la supervisión del proveedor del producto y la casa a la cual se le había comprado la planta.

El sistema instalado en comparación con el sistema mayormente usado varía el grado de complejidad con el cual es activado. Este fue instalado directamente al software controlador de la planta, permitiendo de esta manera el poder manejar desde la cabina de operación todas las variables que intervienen en la realización de la mezcla asfáltica. El sistema está integrado por varias partes:

1. Un tanque de almacenamiento.
2. Un agitador dentro del tanque de almacenamiento con su motor respectivo.
3. Una bomba de 1800 R.P.M la cual será la encargada de inyectar el látex.



Fotografía 2. Equipo de almacenamiento y de inyección del látex a la planta donde se produce la mezcla asfáltica.

Se debe destacar que en este sistema se inyectó el látex en la tubería del asfalto y no en el tambor mezclador como es normalmente inyectado. Por lo que se debe tener previsto que en dicha unión se dará un proceso de evaporación de agua de la dispersión líquida, lo que influye en la ubicación en donde se unirán las dos tuberías, ya que el proveedor del producto recomienda colocarla en los lugares con menos figuras y preferiblemente lo más cerca del tambor.

El porcentaje de dosificación del látex inyectado a la mezcla asfáltica es un valor calculado sobre el porcentaje de asfalto que se inyecta a la misma, lo que causa que cualquier anomalía en el porcentaje de asfalto inyectado cause variaciones en el porcentaje de látex inyectado.

Dosificación

Al ser el látex una mezcla de partículas sólidas de estireno y butadieno disueltas en agua, se manejan dos tipos de dosificaciones para incorporar el látex a la mezcla y de ahí el cuidado que hay que tener a la hora de su dosificación.

Se puede hablar de un porcentaje de látex y un porcentaje de base sólida; si hablamos de un 5% de látex estamos hablando de un 3.5% de base sólida o que es lo mismo de sustancia efectiva ya que como se mencionó anteriormente, el agua corresponde al 30% de la dispersión, la cual se evapora a la hora de entrar en contacto con el asfalto a altas temperaturas.

En dicho documento se hace referencia al porcentaje de látex dosificado a la mezcla asfáltica a valorizar, el cual corresponde al total aplicado, contemplado dentro de este mismo el 30% de agua perdida en la reacción látex-asfalto, por lo que si se quiere obtener el porcentaje correspondiente a base sólida se le debe restar el 30% de agua. Por ejemplo, esta mezcla fue diseñada con una cantidad de 59 litros de asfalto AC-30 por tonelada. Esto implica que por cada tonelada de mezcla asfáltica se añadió 1.9% de látex sobre el asfalto, lo que significa que se inyectó 1.12 litros por tonelada, mas con lo explicado anteriormente, dentro de esos 1.12 litros, 0.47 litros corresponden a agua, por lo que la cantidad de base sólida añadida a la mezcla o de látex efectivo es de 0.78 litros por tonelada.

Resultados

Los primeros resultados que se obtuvieron en este estudio son los extraídos de los diseños de mezcla asfáltica presentados por parte del contratista a la administración para su respectiva aprobación.

En esta obra se presentaron dos diseños de mezcla asfáltica, los dos fueron realizados bajo el mismo personal y bajo las mismas condiciones de laboratorio. La única diferencia que se dio en los dos diseños de mezcla asfáltica es que el primero se realizó con asfalto virgen mientras el segundo se realizó con asfalto modificado con látex UP70SBR al 2.7% sobre el asfalto.

Datos de los Diseños

CUADRO 1. DATOS OBTENIDOS DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS			
Parámetro	Virgen	Modificada	Especificación
Asfalto Óptimo sobre mezcla	5.90%	5.90%	-
Asfalto Óptimo sobre Agregado	6.27%	6.27%	-
Vacíos de Aire	4.50%	4.50%	3.0% - 5.0%
VMA	16.50%	16.50%	13.0% Mínimo
Gravedad Específica	2.345	2.340	-
Gravedad Específica Máxima Teórica	2.450 Kg./m ³	2.450 Kg./m ³	-
Estabilidad	1,555.00 Kg.	1,685.00 Kg.	1,000 kg. Mínimo
Flujo	34.80 cm./100	31.00 cm./100	20.0 - 40.0 cm./100
VFA	73.00%	73.00%	65.00 - 75.00
% Asfalto Efectivo	5.16%	5.16%	-
Razón Polvo/Asfalto	1.10	1.10	0.60 - 1.30
Resistencia Retenida (R.R)	76.70%	87.00%	-
	77.20%	86.00%	-
Tensión Diametral (T.S.R)	76.40%	86.70%	-
	77.30%	83.70%	-
Módulo de Resiliencia 5°	13,286 MPa	14,614 MPa	
Módulo de Resiliencia 20°	3,403 MPa	4,634 MPa	
Módulo de Resiliencia 40°	893 MPa	1,705 MPa	

Cuadro 1. Comparación de los diseños de mezclas. Una con asfalto virgen y otra con asfalto modificado con polímero al 2.9%.

Estos datos se refieren únicamente a los extraídos de la elaboración de los diseños.

Por lo que debe de especificarse que deben de separarse de los datos extraídos de la producción

de la mezcla asfáltica modificada realizada en planta.

Datos de Producción en Planta

Una vez que se empezó la producción de la mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR se recopiló los datos de las pruebas marshall realizadas por el personal encargado de dicho control, las cuales se observan en el apartado ANEXOS.

En el siguiente cuadro se muestra un resumen de los datos.

CUADRO 2. RESUMEN DE DATOS OBTENIDOS DE LA PRODUCCIÓN EN PLANTA						
Descripción	ITP			OJM		
	Percentil 15	Promedio	DS	Percentil 15	Promedio	DS
% asfalto sobre la mezcla (AASHTO T-308)	5.70	5.82	0.12	5.69	5.83	0.15
% asfalto sobre el agregado	6.05	6.18	0.14	6.01	6.19	0.16
Gravedad Específica Bruta (AASHTO T-245)	2.34	2.35	0.01	2.34	2.35	0.01
Gravedad Específica Máxima Teórica (AASHTO T-209)	2.46	2.46	0.01	2.45	2.46	0.01
% Vacíos en la mezcla (AASHTO T-166)	3.82	4.33	0.46	3.94	4.34	0.49
% Vacíos en el agregado mineral (V.M.A) (MS-2)	15.64	16.03	0.40	15.71	16.11	0.44
% Vacíos llenos de asfalto (V.F.A.) (MS-2)	70.49	73.04	2.51	70.65	73.06	2.63
ESTABILIDAD (Kg.)	1,278.76	1,389.05	100.67	1,254.00	1,393.64	122.74
FLUJO (cm./100)	29.44	32.17	2.47	28.48	31.62	2.95
Relación Polvo/Asfalto efectivo	1.15	1.26	0.09	1.13	1.24	0.10
Absorción de asfalto:	0.61	0.70	0.09	0.60	0.69	0.13
Gravedad Específica Asfalto:	1.04	1.04	0.00	1.03	1.04	0.00
Asfalto Efectivo:	5.06	5.16	0.15	5.07	5.19	0.15

Cuadro 2. Datos obtenidos de la producción; el percentil 15 nos refleja el valor asegurado por el 85% de los valores

Los datos fueron resumidos para presentarse de la manera más demostrativa posible, para ello se utilizó el promedio de todas las pruebas con su respectiva desviación, manteniendo siempre separadas las pruebas por el laboratorio que las

realizó con el fin de evitar desviaciones por motivo de manipulación.

El dato del percentil 15 nos ayuda a identificar el valor que el 85% de los valores obtenidos de las pruebas lo superan.

Otro de los resultados de suma importancia para este estudio, son las pruebas de razón de resistencia retenida y tensión diametral, las cuales se realizaron un total de 11 ensayos por cada prueba a lo largo de la construcción de la obra. Los resultados extraídos de las mismas se

pueden observar en el Gráfico No.1 mostrado a continuación.

Gráfico 1. Resistencia Retenida y Tensión Diametral

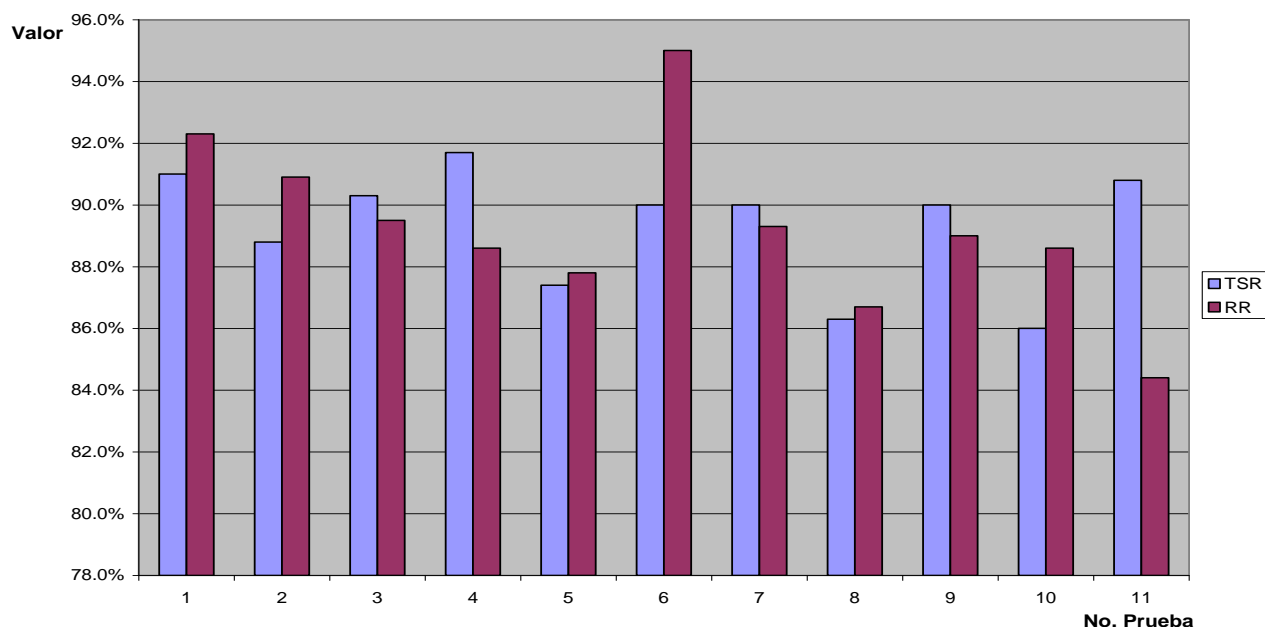


Gráfico 1. Pruebas realizadas por el laboratorio ITP.

Los datos del laboratorio OJM los podemos ver en el Cuadro 3 el cual se muestra a continuación.

Muestra	Fecha	TSR	RR
1	11/08/06	85.3%	91.6%
2	24/08/06	87.1%	92.4%
3	29/08/06	90.2%	90.3%
4	04/09/06	93.7%	91.6%
5	12/09/06	87.8%	92.9%
6	17/09/06	90.8%	91.9%
7	26/09/06	91.6%	92.0%
8	30/09/06	92.1%	92.2%
9	04/10/06	90.8%	92.7%
10	10/10/06	91.9%	93.6%

Cuadro 3. Pruebas realizadas por el laboratorio OJM

Descripción	TSR		RR	
	ITP	OJM	ITP	OJM
Valor asegurado por el 85% de los datos	86.85%	87.35%	87.25%	91.60%
Valor Promedio de los datos	89.30%	90.13%	89.28%	92.12%
Desviación Estándar de los datos	1.93%	2.60%	2.80%	0.89%

Cuadro 4. Análisis estadístico de las pruebas de resistencia retenida y de tensión diametral.

Resumiendo estos datos de la misma manera que se hizo con los datos obtenidos de las pruebas Marshall, se obtienen los valores representados en el Cuadro 4 que observamos anteriormente.

Otro de los resultados importantes que se tuvo la posibilidad de documentar, fueron los realizados por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME). En este caso el LANAMME actuó como un ente auditor el cual llevó a cabo ensayos que permitieron observar el comportamiento de la mezcla asfáltica en caliente modificada, esto dado que existe equipo que solo este laboratorio posee en nuestro país.

Uno de los resultados que se le prestó más atención es el cálculo del módulo resiliente.

Los datos obtenidos podemos resumirlos en el Cuadro 5 el cual se muestra a continuación.

Cuadro 5. Resultados del Módulo Resiliente			
Temperatura	Golpes		
	25	50	75
5.00 °	13,358.67	14,734.00	16,130.67
25.00 °	3,539.00	3,775.00	4,054.00
40.00 °	1,037.33	1,127.00	1,202.00

Cuadro 5. Tabulación de las pruebas realizadas por LANAMME a la mezcla de planta modificada con UP70SBR.

Como se puede observar en el cuadro anterior cada ensayo se lleva a cabo con una cantidad de golpes definidos y a una temperatura determinada para poder tener una visión en ambos extremos de la realidad.

Gráfico 2. Módulo Resiliente

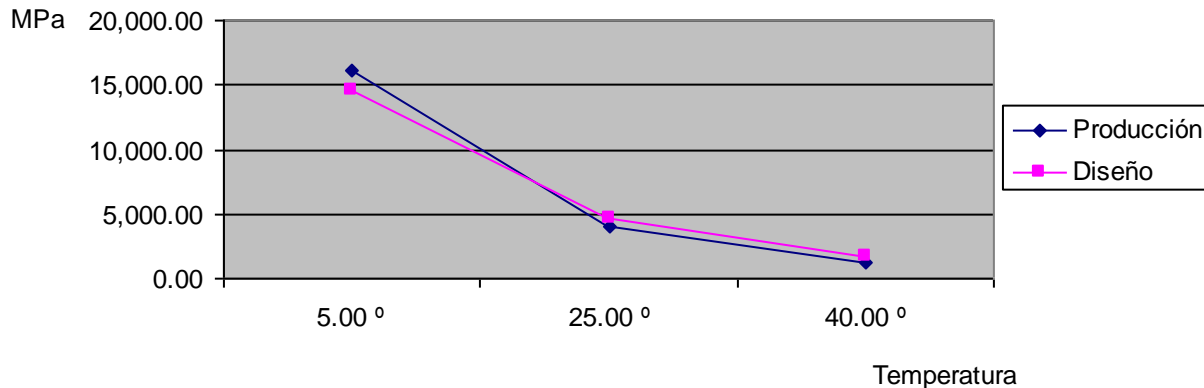


Gráfico 2. Ilustración del comportamiento del Módulo Resiliente de la producción en planta y el obtenido en el análisis del diseño.

Anteriormente se pudo observar el comportamiento de la mezcla asfáltica modificada producida en planta, comparada con la mezcla asfáltica analizada con base en los diseños presentados por parte del contratista a la Unidad Ejecutora Costanera. La misma está ilustrada en el Gráfico 2.

Una vez que se empezó a colocar la mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR se pudo determinar las variantes que mostraba la mezcla con respecto a la temperatura con la cual salía de la planta y la temperatura con la que llegaba al campo.

También se monitoreó la temperatura bajo la cual se producía la mezcla modificada, con el fin de determinar divergencias en las temperaturas normales de producción de mezclas asfálticas.

Es por ello que con respecto a la temperatura obtuvimos datos en las categorías datos de producción en los que tabulamos las temperaturas de producción y las temperaturas en boca de planta, tomadas a la hora de realizar los muestreos de la mezcla antes de salir de la planta para ser colocada; y valores mostrados en la categoría datos de colocación en los que se

tabularon las temperaturas de colocación y compactación.

Las temperaturas obtenidas en la zona de planta se pueden observar en el siguiente cuadro.

Cuadro 6. Temperaturas de salida de mezcla asfáltica modificada			
Valor	Percentil 15	Promedio	Desviación
	164.01 °	164.73 °	1.08 °

Cuadro 6. Tabulación de temperaturas de muestreo en boca de planta donde se produjo la mezcla asfáltica.

Como se puede observar los datos se simplificaron a un valor promedio y su respectiva desviación estándar con el fin de brindar un intervalo de acción como se observa en el Cuadro 6. También se ilustró el valor que nos garantiza el 85% de los datos obtenidos.

Datos de Colocación

Entre los datos y las observaciones realizadas durante el proceso de colocación, tenemos, todo el estudio de compactación, así como las consideraciones hechas por los involucrados en el proceso de colocación de la mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR.

Entre los datos extraídos están, la temperatura de colocación y compactación, ya que se realizó de manera continua y sin ninguna pausa como es frecuente en las mezclas convencionales, la misma estuvo siempre dentro del siguiente rango: 148° C-152° C.

El análisis de compactación se llevó a cabo mediante la medición de la densidad en sitio por medio del densímetro nuclear y también bajo el cálculo realizado a los núcleos o testigos extraídos de la obra con el fin de ser analizados en el laboratorio.

Estos valores pueden ser vistos en el Cuadro 7 que se muestra a continuación. Los datos están divididos en tres filas, la primera representa los datos obtenidos en campo con ayuda del densímetro nuclear y las otras, muestran los datos obtenidos en el laboratorio donde se llevó el análisis de los núcleos.

Cuadro 7. Compactación en sitio.				
Prueba		Percentil 15	Promedio	Desv.
Densímetro	Ambos	93.00	94.00	3.50
Núcleo	OJM	91.92	93.77	1.84
Núcleo	ITP	92.20	93.80	1.70

Cuadro 7. Resumen de mediciones de compactación en sitio.

Los estudios de compactación se llevaron a cabo por cada uno de los responsables del control de calidad para el caso del análisis de los núcleos extraídos de la mezcla asfáltica colocada en la obra, mientras que la recolección de datos de las medidas de la densificación en sitio se realizó en conjunto.

Es importante diferenciar los datos tabulados y extraídos de pruebas de laboratorio, con observaciones o expresiones del personal involucrado en su colocación o su análisis. Las mismas fueron tomadas para crear una documentación sobre el comportamiento de la mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR durante el proceso de colocación.

Las observaciones fueron tomadas y documentadas por medio de la formulación de preguntas realizadas en las conversaciones tenidas con los diferentes encuestados. Entre los entrevistados se tienen al personal encargado de dar el acabado manual a la mezcla, conocidos como "rastrilleros", el encargado de la cuadrilla de colocación, el personal que realizó las pruebas de control de calidad así como los responsables del área de producción de la mezcla.

Análisis de los resultados

Diseño

Primeramente se debe de recordar que el uso de los polímeros como modificantes de asfaltos tiene como fin acercar el comportamiento del asfalto a un comportamiento ideal. Es por ello que puede diferenciar en los análisis del diseño una tendencia a variar los resultados en ciertas pruebas más también se puede distinguir que ciertas variables no sufren modificación.

En el Cuadro 1, ubicado en los Resultados de la investigación se observa que el uso del polímero látex UP70SBR en la mezcla asfáltica no modifica el porcentaje de asfalto que se utiliza.

Otro aspecto importante de destacar es que el uso del modificante no altera la granulometría propuesta o utilizada en la elaboración de la mezcla asfáltica por consecuente no altera las relaciones volumétricas como puede observarse en el cuadro anteriormente referenciado. Los valores obtenidos en el VMA, VFA y Vacíos de aire son iguales en los dos diseños.

Donde sí se puede notar una alteración en los datos obtenidos es en la estabilidad, en el flujo, en la tensión diametral, resistencia retenida y en el módulo de resiliencia.

En estos casos se puede notar un aumento general en las variables mencionadas exceptuando el flujo que pasó de 34.80 cm./100 en la mezcla realizada con asfalto virgen, a 31.00 cm./100 lo que dio la sensación de una mezcla un poco más rígida, esto debido a que se tuvo un incremento del 8% en el valor de la estabilidad y un menor flujo con la utilización del látex UP70SBR con modificante del asfalto.

Esto implica el enfatizar en los dos problemas que provocan la falla en su mayoría de los pavimentos flexibles; una de ellas es la fatiga, la cual se da en mezclas muy rígidas. La otra es por ahullamiento (roderas), lo que causa carreteras con deformaciones permanentes y

desplazamientos de las mezclas hacia los costados causado por el transitar de los vehículos.

Un factor que juega un papel muy importante en estos problemas es la temperatura, ya que el comportamiento del asfalto dependerá de la misma, llegando a obtener mezclas muy rígidas a bajas temperaturas y mezclas muy susceptibles a la deformación a altas temperaturas, provocando que el comportamiento elástico de la mezcla disminuya su valor conforme aumente la temperatura. Esto lo podemos identificar analizando la tendencia de los resultados del módulo resiliente a diversas temperaturas.

Por eso al observar los valores del módulo resiliente obtenidos en ambos diseños nos damos cuenta de que el látex UP70SBR tiene una tendencia a corregir las deformaciones permanentes entre temperaturas bajas y temperaturas altas. Se observa que a 5° C donde la mezcla asfáltica tiende a comportarse más rígida que a una temperatura mayor, se puede identificar un aumento de 10% en el comportamiento elástico de la mezcla asfáltica. A 25° C la mezcla asfáltica virgen posee un MR de 3,403 MPa y de 4,634 MPa cuando se utilizó asfalto modificado, provocando un aumento de 36.2% en la capacidad de soportar cargas dinámicas por unidad de área y lograr recuperar su forma inicial. Cuando el ensayo se realiza a 40° C se obtiene la misma tendencia que a los 25° C pero en este caso el aumento en el módulo resiliente es del 91.0%, por lo que se estaría mejorando el comportamiento elástico de la mezcla asfáltica, lo que implica que se estaría combatiendo o evitando las fallas por deformaciones permanentes.

Si bien el comportamiento de la estabilidad y el flujo nos lleva a pensar que la mezcla podría comportarse de una manera rígida, el análisis de los módulos de resiliencia obtenidos de los diseños nos dice que la mezcla modificada va a tener una mayor capacidad elástica en

condiciones de altas temperaturas, ayudando a corregir deformaciones permanentes en el pavimento.

Ahora, los otros datos que sufrieron una variación con la incorporación del látex UP70SBR a la mezcla asfáltica fueron los derivados de los ensayos de Tensión Diametral y de Resistencia Retenida, los cuales dan un comportamiento de la mezcla asfáltica contemplando una situación de saturación en agua. Como es de saber, el agua puede incrementar la propensión de una mezcla a la deformación permanente, esto dado que cuando una mezcla sufre una alteración de estado seco a estado húmedo, se puede presentar una disminución en la resistencia de la mezcla si esta presenta sensibilidad al agua.

Es por ello que estas pruebas se llevan a cabo, con un grupo de testigos o pastillas de mezcla asfáltica, donde la mitad de ellas se enfrenta a un proceso de saturación del 70% al 80%, además son condicionadas por humedad y bajo agua a 60° C durante 24 horas en el caso de la tensión diametral y solamente condicionadas por humedad a lo largo de 24 horas a 60° C para el ensayo de la resistencia retenida. Una vez que se realiza la falla respectiva se dividen los esfuerzos de la prueba respectiva, de los testigos condicionados entre los no condicionados para poder representar la capacidad que los mismos son capaces de soportar hasta llegar a la falla en situación crítica.

Estos valores son representados como un porcentaje el cual por especificación debe de estar por encima de 75%. Como se puede observar en los valores obtenidos en los diferentes diseños se tuvo una disminución en la pérdida de la capacidad a soportar los esfuerzos aplicados en la situación anteriormente descrita.

Los valores obtenidos utilizando asfalto convencional se encontraban muy cerca del valor que la especificación brinda como mínimo aceptado; pero con la aplicación del látex UP70SBR se obtuvieron datos por encima un 10.9% con respecto a los obtenidos con el asfalto virgen. Estos resultados del orden de 85% nos muestran que el látex nos ayuda a brindar un mejor comportamiento a la mezcla asfáltica en condiciones más críticas o en condiciones expuesta al agua.

Otro ensayo donde se puede observar el comportamiento del látex en situaciones expuestas al agua y la temperatura es en el ensayo de razón de resistencia retenida. En este

ensayo podemos observar un comportamiento similar al obtenido en las pruebas de la tensión diametral; se obtuvo un dato muy cercano al límite estipulado en la especificación vigente de dicha prueba al utilizarse asfalto virgen. Una vez que se modificó el asfalto con látex UP70SBR se dieron resultados un 12% mayor a los logrados con el asfalto virgen, dichos valores estuvieron por el orden del 85%, lo que nos indica que el uso del polímero látex UP70SBR presenta una tendencia a aumentar la cohesión de las mezclas asfálticas.

Es importante destacar que el diseño se llevó a cabo bajo el mismo procedimiento y normas establecidas para un diseño normal, con la única variación en la aplicación del látex UP70SBR al asfalto en el segundo diseño en una dosificación del 2.7%. Una vez realizada la inyección del látex al asfalto AC-30 se pudo identificar una dificultad en la trabajabilidad del asfalto en el diseño, también se pudo observar que con respecto a aumentar el porcentaje de látex aplicado al asfalto, mucho más difícil es la manipulación de la mezcla por lo tanto mucho más complicada la realización del diseño. También se debe de enfatizar que el tiempo que se tiene para realizar el diseño es menor, dado a que la aplicación del polímero producía un efecto de enfriamiento mucho más agilizad que cuando se utilizó asfalto sin modificar.

Se debe recordar que lo discutido hasta este punto, no ha sido más que lo observado y obtenido en el estudio de los diseños de mezclas asfálticas, tanto con asfalto virgen como con asfalto modificado con látex UP70SBR, por lo que hasta aquí las observaciones se limitan al comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero látex UP70SBR en condición de laboratorio.

Producción

Una vez que se tuvieron los datos de mezcla asfáltica producida en planta y en caliente modificada con látex UP70SBR se pudo observar el comportamiento de la misma con respecto a los datos obtenidos primeramente en el diseño.

Estos datos se pueden ver en el Cuadro 2 del apartado Resultados. En el mismo se diferencia los datos por Laboratorio que realizó la prueba para no cometer el error de revolver los resultados. Como se puede observar existen pequeñas diferencias en los datos tabulados en el Cuadro 2 con respecto del Cuadro 1 el cual pertenece a los datos obtenidos del diseño.

Se debe recordar que como se especificó al final de la discusión de los datos del diseño, el mismo se llevó a cabo en condiciones controladas de laboratorio, lo que nos brinda unos parámetros de referencia para los resultados que se deben de obtener de la producción en campo.

En este caso en particular la mezcla asfáltica se realizó en una planta de producción continua como se especificó en el apartado Metodología, este tipo de plantas como su nombre lo indica, producen mezclas bajo un proceso agilizado, lo que conlleva a producir o sacrificar un poco la exactitud de la dosificación en comparación de una planta de batcher. Esto se debe a que las plantas de batcher trabajan de la siguiente manera: secan el agregado, se tamiza el agregado, es pesado por su respectivo tamaño y finalmente se dosifica el asfalto por peso. Mientras que las plantas de producción continua como la que produjo la mezcla asfáltica modificada operan de la siguiente manera: se introduce la dosificación del agregado en el equipo de control, luego se pasa por la banda transportadora, se pesa, y se introduce al tambor mezclador donde se mezcla con el asfalto. El asfalto es inyectado por una bomba la cual lo dosifica sobre el peso seco del agregado para lo cual anteriormente se tuvo que introducir en el equipo de control de la planta, la humedad de cada uno de los agregados, y el mismo equipo se encargará de ponderar dicha humedad y de corregir el peso del agregado que pasa por la banda transportadora para así inyectar el asfalto exacto. Es por ello que es de sumo cuidado el control de las humedades de los agregados cuando se produce en plantas de producción continua, y que cualquier anomalía o mala

información que se introduzca a la máquina nos dará resultados muy diferentes a los esperados.

Es por ello que las variaciones que se pueden detectar en el Cuadro 2 respecto a los datos del diseño se puede decir que son normales al utilizar este tipo de plantas mezcladoras y no se deben a la inyección del polímero utilizado. También es importante mencionar que durante todo el proceso de producción no se presentó problemas con el equipo de dosificación. Si bien se presentó problemas con la planta mezcladora, ninguno de estos se relacionaba directamente con la dosificación tanto del agregado, del asfalto o del polímero. Pero a pesar de esto se debe de destacar que frecuentemente se efectuaban calibraciones del equipo, con el fin de evitar anomalías y con estos problemas directos en la mezcla asfáltica modificada.

En el análisis que se realizó al diseño se identificó variaciones en pruebas como la estabilidad, el flujo, tensión diametral, resistencia retenida y módulo de resiliente; por lo que se compararan los datos de la producción, respecto a los obtenidos en el diseño para así poder establecer un comportamiento de la mezcla modificada con látex UP70SBR.

Estabilidad y Flujo

Con respecto a la estabilidad se puede observar que el comportamiento mostrado en condiciones controladas de laboratorio, se encuentra muy alejado a la realidad expuesta en la producción continua que se dio durante este proceso. Si bien se obtuvieron estabilidades de hasta 1,662 kilogramos, después de realizar el respectivo análisis estadístico se pudo dar cuenta que el valor que pudo garantizar el 85% de las pruebas llevadas a cabo es de 1,278.76 kilogramos. Como se puede ver, el valor máximo de estabilidad que se obtuvo durante el proceso de producción en planta, no logró alcanzar el valor que se garantizó en el diseño presentado al inicio de la producción. Si bien el valor que se logró conseguir durante el proceso industrializado de producción de mezcla asfáltica en caliente y en planta, modificada con látex UP70SBR, es similar al del diseño (1,685 Kg.), se debe aclarar que no fue el comportamiento que identificó la producción. Si se analiza el promedio que expulsó el estudio realizado a los valores

brindados por los laboratorios, se puede observar que el promedio de dichos datos está alrededor de 1,389.05 Kg. con una desviación estándar de 100.67 Kg. Lo que brinda un intervalo de regularidad de valores que va desde 1,288.38 hasta 1,489.72 kilogramos; esto refleja que el comportamiento de la estabilidad en el proceso de producción no se asemeja al comportamiento que se obtuvo en la realización de los diseños realizados bajo condiciones controladas ya que si vemos el promedio que se obtuvo, este no garantiza ni siquiera el valor de la estabilidad extraída del diseño de mezcla asfáltica con asfalto virgen (1,555 Kg.) por lo que se podría decir que la estabilidad no es un parámetro que se pueda mantener o asegurar en condiciones de producción en planta de producción continua, en mezclas donde el asfalto es modificado con látex UP70SBR.

Con respecto al flujo se puede observar que el valor que asegura el 85% de los datos es de 29.44 cm./100. Por otro lado se tiene que el promedio de dichos datos varía dependiendo del laboratorio encargado de la prueba; se tiene que a ITP le da un promedio de 32.17 ± 2.47 cm./100 y a OJM 31.62 ± 2.95 cm./100. Se observa el Cuadro 1 se puede rescatar que el valor obtenido en el diseño de mezcla asfáltica modificada era de 31 cm./100 el cual se encuentra dentro de los dos intervalos de probabilidad de obtención de valores que da el análisis estadístico de los resultados de los laboratorios mas no es un valor que se comporta de manera constante.

Por lo tanto, se considera que los datos obtenidos de la producción de mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR con respecto a la estabilidad y al flujo no son tan representativos para reflejar un comportamiento típico causado por el efecto del látex UP70SBR en las mezclas asfálticas.

Tensión Diametral y Resistencia Retenida

La tensión diametral y la resistencia retenida como se discutió anteriormente, tuvieron un aumento a la hora de realizar la variante en el asfalto cuando se hizo el diseño. Con asfaltos modificados con látex UP70SBR el comportamiento tanto de la resistencia retenida y la tensión diametral tendieron a soportar un 12%

y un 11% más, respectivamente como lo mostraron los diseños presentados.

Una vez que se analizó los datos del autocontrol de calidad del contratista y los del encargado de la verificación de calidad por parte de la administración, se puede observar que los valores obtenidos son más altos de los deducidos en el diseño de mezclas asfálticas modificadas con látex UP70 SBR.

En el Cuadro 4 se ilustra los resultados estadísticos de las muestras de ambos ensayos realizados. Según lo expuesto en dicho cuadro podemos garantizar que en ambas pruebas el 85% de los datos cumplen el valor establecido en el diseño de mezclas asfálticas modificadas. En el caso de la tensión diametral el valor asegurado por el 85% de los datos es de 86.9% y en el caso de la resistencia retenida es de 87.3% por lo que se muestra el cumplimiento de los valores de 85.2% y 86.5% respectivamente.

También dentro del análisis estadístico de los datos de las pruebas de tensión diametral y de resistencia retenida obtuvo promedios mucho más altos de los resultados del diseño de mezcla asfáltica modificada, en el caso de la tensión diametral, el promedio de las pruebas estuvo 4.1 puntos por encima del valor de diseño mientras que la resistencia retenida al igual que la tensión diametral presenta un promedio de pruebas mayor por 2.8 puntos respecto al diseño.

Se recuerda que dichas pruebas se hicieron a la producción de mezcla asfáltica que se realizó en planta y en caliente, por lo que se debe tener presente que dicho análisis se llevó a cabo en mezcla que formó parte de un proceso industrializado que se dio en condiciones muy diferentes a las condiciones controladas que se dan en el laboratorio. Durante el proceso de producción y como fue comentado anteriormente, el agregado es sometido a un calentamiento dentro del tambor mezclador, con el fin de eliminar la humedad presente en el mismo, con el fin de adjuntar el asfalto a un agregado en estado seco. En este caso en particular, el agregado en ocasiones mantenía un alto porcentaje de humedad, lo que llevó a tener que subir el calor producido por la llama encargada de secar el agregado. Según estudios y discusiones llevadas desde tiempo atrás por especialistas en mezclas asfálticas y sus componentes; existen diferentes criterios sobre el alcance de dichas pruebas.

Algunos expertos consideran que dichas pruebas dependen de la calidad del agregado y por lo

tanto mide la calidad del agregado. Si se observa los resultados obtenidos en ambas pruebas, podemos deducir para la tensión diametral (87.4% a 91.2%) y para la resistencia retenida (86.5% a 92.1%), un claro aumento respecto a los datos del diseño de mezcla asfáltica modificada. También debemos destacar que la temperatura a la cual es sometido el agregado en el proceso de calentamiento produce un aumento en los valores de la tensión diametral y de la resistencia retenida según estudios realizados en el pasado. Por lo que podríamos identificar que dicho aumento en los datos de producción respecto a los obtenidos en la elaboración del diseño de mezcla asfáltica modificada, se deba al calentamiento que se tuvo que aumentar por el alto contenido de agua que poseía el agregado utilizado como componente de la mezcla asfáltica. Durante toda la producción de la mezcla asfáltica, se utilizó un agregado triturado, de la fuente del río Barranca, el cual fue controlado en todo momento de su trituración con el fin de mantener una uniformidad para poder de esta manera asegurar una mezcla con una granulometría constante. Por lo que el agregado utilizado en la producción de la mezcla asfáltica modificada, tuviera la característica de pertenecer a una misma fuente y presentar una uniformidad en su granulometría.

Lo que no se puede cuantificar es el aumento sufrido por causa de las altas temperaturas a las que se calentó el agregado en la planta marca ASTEC de doble barrel y de producción continua por consecuencia a los altos contenidos de humedad presentes en el mismo.

En lo que se puede estar seguros, es que en condiciones de producción en planta y en caliente, se aseguró un aumento en los valores de tensión diametral y la resistencia retenida cuando la mezcla es modificada con látex UP70SBR provocando un mejor comportamiento en condiciones donde se presenta el agua.

Módulo Resilente

Durante toda la producción de mezclas asfáltica modificada, el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LANAMME) se encargó de realizar varias pruebas sobre el módulo resiliente, pero en el momento de realizar este informe solamente habían brindado un resultado.

Este resultado se pudo ver en el Cuadro 5 y podemos ver el comportamiento que presentó la prueba tomada por el LANAMME.

Si se observa la comparación entre los resultados que se tuvo en el análisis del diseño de mezcla asfáltica modificada y los resultados de la prueba del LANAMME se ve una diferencia entre el comportamiento esperado. Dicho comportamiento fue ilustrado en el Gráfico 2, ahí se presentó la graficación de los valores a 75 golpes, esto debido a que esa es la cantidad de golpes establecidos en esta obra para la realización del diseño.

Una vez que se analizó la ilustración de los datos del LANAMME se deduce que el comportamiento del asfalto modificado con látex UP70SBR ocasiona una variación en la propiedad elástica presentada por la mezcla asfáltica. El aumento ocasionado en la propiedad elástica fue discutido anteriormente en el análisis de resultados de los diseños de mezcla asfáltica presentados. Pero en esta ocasión, se asemeja los datos correspondientes a la producción de la mezcla asfáltica en planta y en caliente, los mismos presentan una tendencia un poco menor a la obtenida en el diseño de la mezcla modificada con látex UP70SBR. En el caso de las bajas temperaturas, el resultado obtenido fue mayor que el brindado por el diseño modificado, pero en el caso de 25° C y de 40° C los resultados obtenidos por el LANAMME fueron menores a los expuestos en los diseños. Los módulos resilientes correspondientes a la producción en planta si bien son menores, son valores que se encuentran por encima de los datos obtenidos cuando se utilizó asfalto virgen en condiciones controladas de laboratorio como es mostrado en el gráfico.

Es por ello que se puede deducir que en condiciones de producción en planta y con látex UP70SBR como ente modificador, se obtienen datos de módulo de resiliencia menores de los obtenidos en condiciones de laboratorio, pero si se asegura un dato mayor a los datos de referencia de módulo resiliente mostrados en el diseño de mezcla asfáltica virgen.

Colocación

Durante el proceso de colocación se pudo medir y observar lo referente a variables tales como temperatura, compactación y la trabajabilidad que muestra la mezcla al ser modificada. Es por ello que vamos a discutir estos tres puntos.

Temperatura

En el caso de la temperatura se llevó un control diario como se mencionó anteriormente de la temperatura de despacho de la planta donde se produjo la mezcla asfáltica modificada. Estos valores los podemos observar en el Cuadro 6.

Los resultados estuvieron en el margen de 163.65° C a 166.53° C asegurando el 85% de los datos un valor mayor de 164.01° C.

Como se mencionó anteriormente, no se tuvo que variar la temperatura de producción a causa de la inyección del látex UP70SBR y no se debe confundir con esto, el aumento que se tuvo que hacer en intensidad de la llama encargada de secar el agregado antes de ser mezclado con el asfalto.

Una vez que la mezcla asfáltica modificada llegó al sitio de colocación, se procedió a la colocación de la misma. Dicha colocación se dio de una manera continua y sin demoras a la hora de descargar los equipos encargados del acarreo de la mezcla.

El tiempo promedio que duró el acarreo en condiciones normales era de 15 a 20 minutos, mientras que en condiciones críticas el acarreo podía durar entre 20 a 25 minutos. La temperatura a la cual se colocó la mezcla asfáltica modificada estuvo en el orden de 148 a 150 ° C, y era la temperatura a la cual llegaba la mezcla cuando el acarreo se encontraba a una distancia entre 10 y 13 kilómetros de la planta, de lo que se puede deducir que la pérdida de temperatura por factor tiempo es muy acelerado.

De este modo se tiene que en un lapso de 20 minutos la mezcla producida en la planta situada en Barranca pierde alrededor de 15° C lo que nos indica que para utilizar este tipo de modificantes se debe de prever una distancia de acarreo corta, esto ya que si se sobrepasa el tiempo que en este caso referencia la producción puede que se tengan problemas de compactación por compactar fuera del rango de temperatura.

Esta observación había sido hecha al inicio del diseño y proceso de producción de la mezcla asfáltica por parte del proveedor del látex. El mismo recomendó la utilización del modificante en una porción de 3%, mientras que como se indicó en el apartado Agente Modificante, en este diseño se utilizó en una porción de 1.9% por lo que se puede esperar por recomendación del proveedor que conforme aumente la dosificación del látex aumente el lapso de pérdida de temperatura.

Compactación

La compactación de mezcla asfáltica modificada se llevó a cabo mediante dos métodos. El primero mediante la toma de la densidad en sitio por medio del densímetro nuclear. Estos valores poseen la característica de ser muy variables ya que depende meramente del instrumento de medición. El mismo debe de estar calibrado y se debe de tener cuidado a la hora de situarlo en el material a medir. En este caso la medida por medio del densímetro sirve para dar un valor aproximado del valor de compactación en sitio, ya que el valor establecido para la medición del porcentaje de compactación es por medio de núcleos extraídos directamente de la carpeta colocada y analizados en el laboratorio, siendo este el otro método de medición.

Como en todo proceso de colocación de mezcla asfáltica, se debió de realizar un paño de prueba donde se definió el patrón de compactación a seguir. Este patrón se lleva a cabo con ayuda al densímetro nuclear. Una vez realizado el paño de prueba se determinó que la manera de compactar sería de dos pasadas sin vibrador y una pasada con el vibrador activado. También se debe de aclarar que esta primera capa fue compactada sobre una base mejorada con cemento tipo Pórtland. Esto es importante destacarlo debido a la variación que se realizó una vez terminada la primera capa de colocación de la mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR. En la segunda capa, la cual fue colocada encima de una capa del mismo material se tuvo que quitar una pasada de plancha (sin vibrar), quedando un modelo de compactación de una pasada sin vibrar y una pasada con vibración para esta segunda capa.

Ahora, si se ve los resultados de la medición de la compactación en el sitio de la obra

por medio de densímetro nuclear, y se comparan con los datos extraídos de los núcleos estudiados en el laboratorio ayuda a ver que dicha mezcla tiene la característica de absorber o necesitar una poca cantidad de energía de compactación para asegurar el valor de la misma dentro de las especificaciones, las cuales permiten valores entre 92% a 97% de compactación. También podemos ver que el valor que brinda el densímetro a la hora de medir la compactación en el sitio, esta es muy parecida a la compactación obtenida en el laboratorio por medio de los núcleos. Si observamos el Cuadro 7 nos damos cuenta de que el promedio tanto de los núcleos como de las medidas en el sitio está muy cerca de 94% de compactación y un 6% de vacíos en sitio. Pero a pesar de manejar un promedio en ambos casos muy similares, se debe poner atención a la desviación de cada una de las técnicas de medición, si analizamos los intervalos de variación de los datos se puede identificar una mayor amplitud en los resultados dados por el densímetro, lo que respalda lo discutido anteriormente respecto a los datos que se obtienen de los densímetros y su variabilidad por causa de su forma de uso.

Es por todo esto, que se puede concluir que este tipo de mezclas son de muy baja energía de compactación y los parámetros brindados por la medición en sitio mantienen una relación muy cercana a los valores que nos brinda el análisis de los núcleos. Esto es una observación de mucho interés ya que según las personas que han tenido relación con el control de compactación de mezclas asfálticas, en la mayoría de las ocasiones se debe de manejar valores 3 puntos mayores al deseado cuando se controla en sitio con el densímetro nuclear. Por ejemplo, si uno desea una compactación de 94% en sitio medida por los núcleos extraídos se debe obtener una compactación de 97% a la hora de medirlo con el densímetro el cual es la medida que se realiza de manera paralela e inmediata a la colocación.

Trabajabilidad

La trabajabilidad de la mezcla no deja de ser un resumen de su comportamiento durante el proceso de colocación el cual se ha discutido un poco en este apartado. La trabajabilidad de la mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR

se midió por parámetros cuantitativos como son la temperatura y la compactación; y otras cualitativas como es el caso de las observaciones o diferencias realizadas en el proceso de colocación.

Primeramente se debe de decir que el mayor problema que ofrece la utilización de látex UP70SBR es el cambio en la aceleración de la pérdida de temperatura lo que conlleva a una mayor eficiencia y a una mejor planeación de los recursos por parte del encargado de la colocación. También es muy importante rescatar que entre más cerca esté la planta encargada de la producción del sitio de colocación mayor trabajabilidad tendrá la mezcla.

Durante el proceso de colocación se debe de indicar que se tuvo un proceso continuo y sin pausas entre los subprocesos de construcción; es por ello que una vez que la mezcla asfáltica era depositada en la máquina pavimentadora, esta la colocó en el sitio y continuamente se le introducía la compactadora para mezclas asfálticas. La mezcla presenta la característica de poseer una alta cohesión entre sus diferentes tamaños, por lo que se debe evitar la manipulación por parte de los trabajadores con los rastrillos o palas, ya que esa misma cohesión la hace una mezcla asfáltica difícil de acabar a mano. Es por ello que se debe procurar que el acabado se lo dé la máquina pavimentadora.

También se debe tener presente que existirán siempre sitios donde se deba trabajar manualmente con la mezcla asfáltica modificada y bajo los instrumentos convencionales, por lo que se debe tener muy presente el factor temperatura y tratar de manipularla a la mayor temperatura posible para poder dar acabado sin ningún problema.

Los operarios le llaman una mezcla chiclosa, una mezcla pegajosa, una mezcla que para poder trabajarla manualmente se debe de hacer un mayor esfuerzo que una mezcla convencional. Según ellos es una mezcla que requiere una mayor cantidad de personas en el caso de construcción de juntas, por el motivo temperatura y cohesión presentes. Cuando se realizan trabajos con instrumentos convencionales se da el problema de adherencia entre la mezcla y el instrumento el cual no permite realizar el trabajo como se está acostumbrado con las mezclas convencionales. Es una mezcla que posee la característica de no desplazarse hacia los costados y de no presentar

deformaciones en la superficie si se hace uso del equipo de compactación antes de la hora debida. Sí se debe especificar que si bien la mezcla no muestra desplazamiento lateral a la hora de compactarla ya sea en el rango de compactación como fuera de él, sí sufre un asentamiento por causa de la compactación; como el espesor a colocar era de 12.5 cm. nivel terminado se decidió como se mencionó anteriormente a realizarse en dos capas. La primera se colocó a un espesor de 7.5 cm. sueltos para que quedara en un espesor compactado de 6 cm. mientras que en la segunda capa se colocó un espesor de 8 cm. sueltos para asegura el espesor terminado de 12.5 cm. Es en estos momentos y bajo estas situaciones donde se observa el mejor comportamiento de adherencia que presenta una mezcla modificada con látex UP70SBR.

Una mezcla modificada con látex UP70SBR como es el caso de esta presenta como ya e analizó inicialmente un mejor comportamiento en ciertas circunstancias y bajo las mismas variables, pero a la vez hace una mezcla más difícil de manipular. También se debe recordar que esta mezcla fue modificada con un 1.9% de látex UP70SBR y según los fabricantes y proveedor del producto, conforme aumente la cantidad de agente modificador en la mezcla así se hará más difícil su manipulación por decirlo de alguna manera. Mas cabe aclarar que en lugar de dificultad pueden ser cambios en las tendencias de trabajar que repercutan en mejores planeamientos para mejorar la eficiencia de los grupos de trabajo que unido a un material de mayor calidad brinde un mejor comportamiento en las capas de rodamiento a base de mezcla asfáltica en caliente que el país necesita.

Conclusiones

Cuando se realizan modificaciones en mezclas asfálticas producidas en caliente y en planta, con látex UP70SBR no se sufren variaciones en los contenidos de asfalto, granulometrías ni relaciones volumétricas más allá de las variaciones causadas por las plantas de producción continua.

El uso del látex UP70SBR como agente modificante de mezcla asfáltica produce un aumento en las pruebas de resistencia retenida en condiciones controladas de laboratorio.

El uso del látex UP70SBR como agente modificante de mezcla asfáltica produce un aumento en las pruebas de tensión diametral en condiciones controladas de laboratorio.

Durante el proceso de producción en planta y en caliente con asfaltos modificados, se pueden garantizar valores más altos de los obtenidos en situaciones de laboratorio en las pruebas de tensión diametral y de resistencia retenida.

Con base en los resultados de tensión diametral y de resistencia retenida de la mezcla producida en planta con látex UP70SBR, se puede garantizar una mayor durabilidad, en comparación a una mezcla en igual condición pero realizada con asfalto virgen.

La producción de una mezcla asfáltica en caliente y en planta, modificada con látex UP70SBR no sufre cambio a causa del polímero en las temperaturas de mezclado durante su proceso de producción.

La mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR muestra una acelerada pérdida de temperatura una vez que sale de la planta de producción.

La mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR se amolda a proyectos con acarreo de la misma, relativamente corto.

La mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR permite una mayor temperatura de compactación, la misma se encuentra dentro del rango de 148° C a 152° C.

La mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR presenta ausencia de deformaciones al compactar a temperatura por encima de la estandarizada para mezclas con asfalto AC-30.

El patrón de compactación de la mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR requiere una menor energía de compactación que la mostrada por una mezcla asfáltica sin modificar.

La medida de compactación en sitio por medio del densímetro nuclear, es similar a la medida por análisis de los núcleos extraídos de la mezcla modificada con Látex UP70SBR colocada.

La mezcla modificada con látex UP70SBR presenta una pérdida de la trabajabilidad a causa de la rápida caída de la temperatura y la adherencia por lo que se califica como una mezcla difícil de manipular.

Apéndices

Durante la ejecución del proyecto fue necesario elaborar tablas y gráficos con el fin de facilitar la manipulación e interpretación de ciertos valores.

Estos datos fueron en su mayoría presentados en el capítulo de Resultados, pero estos fueron resumidos e ilustrados con los principales valores una vez realizados los respectivos análisis estadísticos.

Entre los seis documentos que podemos observar en esta sección se presenta:

1. Fotografías de la planta donde se produjo la mezcla asfáltica modificada.
2. Fotografías durante el proceso de colocación.
3. Gráfico de las estabilidades realizadas por el laboratorio ITP.
4. Gráfico de las estabilidades realizadas por el laboratorio OJM.
5. Datos de tensión diametral y de resistencia retenida del laboratorio OJM.
6. Gráfico de los datos de compactación del laboratorio ITP.

Planta de producción de mezcla asfáltica con látex UP70SBR



Figura 1. Bomba de succión hacia el tanque de almacenamiento del asfalto.



Figura 4. Tambor mezclador.



Figura 2. Tanque de almacenamiento del combustible y depósito de almacenamiento del látex.



Figura 5. Faja transportadora del agregado desde las tolvas hasta el tambor mezclador.



Figura 3. Tubería de conducción del asfalto hacia el tambor mezclador.



Figura 6. Tolvas de dosificación del agregado.

Proceso de colocación de la mezcla asfáltica con látex UP70SBR



Figura 7. Muestra de la mezcla asfáltica con látex UP70SBR.



Figura 10. Proceso de compactación de la mezcla asfáltica con látex UP70SBR.



Figura 8. Elaboración del paño de prueba de la mezcla modificada con látex UP70SBR.



Figura 11. Toma de la densidad en sitio de la mezcla asfáltica con látex UP70SBR.



Figura 9. Medición de la temperatura al momento de colocar la mezcla modificada.



Figura 12. Extracción de núcleos en la carpeta asfáltica realizada con la mezcla modificada.

Grafico de estabilidad ITP

Grafico de estabilidad OJM

Datos de tensión de OJM

Grafico de compactación

Anexos

En este capítulo tendremos la posibilidad de observar una serie de información que fue de gran interés para obtener los resultados expuestos en el capítulo Conclusiones. Los cuales no fueron realizados por el personal que desarrolló este estudio.

El total de documentos presentes en esta sección son un total de 7 y son presentados en el siguiente orden:

1. Copia del Diseño de mezcla asfáltica virgen.
2. Copia del diseño de mezcla asfáltica modificada con látex UP70SBR.
3. Autocontrol de calidad por parte del laboratorio ITP.
4. Control de Tensión Diametral y de Resistencia Retenida por parte del laboratorio ITP.
5. Verificación de datos de producción por parte del laboratorio OJM.
6. Copia de los resultados de compactación por parte del laboratorio ITP.
7. Copias de los resultados de compactación por parte del laboratorio OJM.
8. Pruebas sobre el Módulo Resilente, elaborado por el LANAMME.

Referencias

- Dirección general de Vialidad 1977. **ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CAMINOS CARRETERAS Y PUENTES.** Costa Rica.
- Mopt, Conavi 2002. **ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS, CAMINOS Y PUENTES EN COSTA RICA.** San José: Conavi.
- Crespo, Carlos 2004. **VÍAS DE COMUNICACIÓN: CAMINOS, FERROCARRILES, AEROPUERTOS, PUENTES Y PUERTOS.** México: Editorial Limusa S.A
- Coronado, Jorge 2002. **MANUAL CENTROAMERICANO PARA DISÑO DE PAVIMENTOS.** s.l.
- Asphalt Institute s.f. **PRINCIPIOS DE CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.** Lexington: Asphalt Institute, (Serie de Manuales No.22 MS-22)
- Asphalt Institute s.f. **THE ASPHALT HANDBOOK.** s.n: College Park
- Granados, J. 1986. **ESTUDIO DE LAS NECESIDADES DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y TRATAMIENTO PARA LA CIUDAD DE CARTAGO.** Informe proyecto final de graduación. Escuela de Ingeniería, Universidad de Costa Rica. 135 p.
- Loría, L. 2005. **EFFECTOS DEL AGUA ATRAPADA EN MEZCLAS ASFÁLTICAS. LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES UCR . III** Foro de Investigaciones en Tecnología vial.
- Garnica, P et al. 2002. **MECÁNICA DE MATERIALES PARA PAVIMENTOS. PUBLICACIÓN TÉCNICA. No. 197:** Instituto Mexicano del Transporte: 223p
- Sánchez, F. 2005. Obtención de módulos de elasticidad de mezclas asfálticas compactadas a través del ensayo Marshall. Coro, Venezuela. **FUNDACIÓN SOLESTUDIOS.** Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos 2205.
- Garnica, P. et al. 2004. **ASPECTOS DEL DISEÑO VOLUMÉTRICO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS. PUBLICACIÓN TÉCNICA No. 246:** Instituto Mexicano del Transporte: 54p
- Garnica, P. et al. 2004. **MÓDULOS DE RESILIENCIA DE AGREGADOS PROVENIENTES DE ROCAS ALTAMENTE INTEMPERIZADAS. PUBLICACIÓN TÉCNICA No. 256:** Instituto Mexicano del Transporte: 98p
- Baliye, M. et al. s.f. **NUEVA METODOLOGÍA PARA LA VALORACIÓN DE LA ADHERENCIA ÁRIDO LIGANTE. UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL DE LA PLATA.** 17p.