



El desafío del Proyecto Cañas-Liberia en cuanto a su estructura de pavimento

Ing. José Pablo Aguiar Moya, Ph.D
correo electrónico: jose.aguiar@ucr.ac.cr

La zona del país por la que se extiende el Proyecto Cañas-Liberia presenta una serie de particularidades que lo hacen, desde el punto de vista de Ingeniería de Materiales, un área para la cual hay que tomar consideraciones especiales y cuidados que tradicionalmente no se tienen en todos los proyectos que involucran la construcción de losas de concreto, bases estabilizadas con materiales recuperados de la carpeta existente, así como materiales mejorados. Adicionalmente, hay que recalcar que es un proyecto de gran envergadura que cubre una longitud de 50,61 km. Lo anterior no implica que los cuidados y soluciones a plantear en el desarrollo del proyecto sean desconocidos. Más bien lo que se intenta recordar mediante este boletín es hacer conciencia de que, como con cualquier material, el concreto, o cualquier proyecto ingenieril, se pueden diseñar alternativas adecuadas considerando

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, Ph.D
correo electrónico: luis.loriasalazar@ucr.ac.cr

los factores que pueden tener un efecto crítico a la hora de la construcción del proyecto, y principalmente en lo concerniente a las losas de concreto.

El objetivo del presente documento técnico es informar a la comunidad costarricense acerca del valor, cuidados ingenieriles e importancia que tiene la realización del proyecto Cañas – Liberia desde el punto de vista técnico en cuanto al diseño y construcción de algunos de los materiales del pavimento, a saber, el concreto hidráulico y el material asfáltico original que se va a estabilizar con cemento. Como todo proyecto de ingeniería, en particular si es de gran envergadura, es muy importante que los encargados de la obra tengan un conocimiento adecuado acerca de desempeño de materiales y que puedan realizar un adecuado diseño del mismo,

así las cosas, con base en dicho diseño, se podrá proyectar la construcción y afinar el diseño estructural del pavimento. En ingeniería vial, el diseño estructural corresponde a la definición de espesores de capa de los materiales componentes pavimento, pero más importante aún, se refiere a la predicción de la vida útil de la estructura, para las condiciones de tránsito, clima, suelos y materiales, esto es; predecir con propiedad la durabilidad del pavimento, sus procesos de mantenimiento y las rehabilitaciones posteriores. En general, para lograr buenos diseños se requiere del concurso de ingenieros que dominen perfectamente el diseño de materiales, el diseño estructural y el proceso constructivo. A esto se une la labor logística de planificación del ciclo de la construcción, o sea, la coordinación del tránsito de la maquinaria que coloca el material y la que le da el acabado. Esto tampoco es aleatorio, o se deja a la suerte, sino que se diseña como parte del proceso constructivo. Se debe recordar que, aunque el diseño se circunscribe a un período dado, una buena carretera dura para toda la vida.

El escenario de altas temperaturas y fuertes vientos que presenta la región requieren de la necesidad de asegurar que las condiciones de curado que van a ser utilizadas en las losas de concreto Portland sean óptimas. ¿Por qué? Porque el curado es el paso más importante durante la construcción de las losas de concreto para asegurar la calidad de las mismas. El curado consiste en mantener un contenido de humedad satisfactorio, así como una temperatura adecuada, durante las etapas iniciales de las estructuras de concreto de manera que las propiedades según las cuales fue diseñada la estructura de concreto (ej. losas de concreto, bases estabilizadas con cemento) se desarrollen adecuadamente. Más específicamente, las propiedades que se ven afectadas debido al curado como son la resistencia y principalmente la durabilidad de la estructura.

Por tanto, la resistencia y durabilidad potencial de las losas de concreto será desarrollada completamente sólo si las mismas son curadas adecuadamente por un período apropiado previo a la puesta en servicio de la carretera. El efecto del curado en el desarrollo de las propiedades del concreto se debe a que para que el cemento Portland adquiera resistencia y durabilidad debe ser sometido a una reacción de hidratación donde en presencia de agua, los compuestos presentes en el cemento (silicatos y aluminatos) producen una pasta de cemento hidratado que conforme avanza la reacción de hidratación se vuelve más firme y dura. Entonces, dado que la hidratación del cemento es una reacción química, es de esperarse que se requiera de agua disponible para que la misma pueda avanzar adecuadamente. Adicionalmente, hay que considerar que la reacción de hidratación es una reacción química y como tal también depende de la temperatura.

De tal forma, es de suma importancia que se asegure el curado durante la colocación del concreto de las losas, así como posterior a la colocación de las mismas. Durante la colocación del concreto, el mismo se encuentra en estado plástico y por lo tanto puede llegar a agrietarse por contracción plástica cuando el agua de la mezcla de concreto se evapora o es absorbida por capas inferiores (base o suelo) Ver figura 1. De la misma forma, puede llegar a

conformar una costra superficial debido al secado localizado, por lo que hay que tener el cuidado de distinguir este fenómeno de un fraguado inicial del concreto. Ambos de estos problemas tienen el mismo origen básico: el secado.

A nivel científico, existen innumerables estudios que demuestran que tanto el agrietamiento plástico y la formación de costras superficiales son función de la temperatura del aire, humedad relativa, temperatura del concreto y velocidad del viento. Y como se mencionó anteriormente, es evidente que todas estas condiciones se presentan de tal forma en el Proyecto Cañas – Liberia que de no considerarse adecuadamente, todas y cada una tendrán un efecto negativo en la resistencia y durabilidad de las capas mejoradas con cemento, y principalmente en las losas de concreto del proyecto.



Figura 1. Agrietamiento por Contracción Plástica
Fuente: Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation

Básicamente, hay que recordar que para que el curado durante y posterior a la colocación del concreto sea un éxito, hay que garantizar que la superficie del concreto esté húmeda. A mayor temperatura, mayor el riesgo de que el concreto de las losas puedan llegar a desarrollar problemas. Para proteger las losas de concreto contra el secado durante las etapas iniciales después de la colocación se pueden utilizar varios métodos recomendados por entes como la Asociación Americana para el Concreto, ACI: aplicar vapor de agua al concreto, levantar barreras contra el viento, trabajar en la sombra o de noche en la manera que sea posible y colocar plásticos entre operaciones. Sin embargo hay que tener varios aspectos claros conceptuales como lo son el hecho de que agregar exceso de agua puede también potencialmente afectar las propiedades del concreto.

El siguiente cuidado que hay que tener con el curado del concreto de las losas es posterior a la colocación de las mismas. Adicionalmente, hay que considerar que algunos concretos requieren de cierto cuidado posterior al acabado o colocación y previo al inicio del curado formal: concretos de alto desempeño y bajos porcentajes de la relación agua/cemento.

Muy importante es definir adecuadamente cuándo empezar a curar. Esto dependerá del tipo de curado seleccionado y del tipo de concreto a ser curado. Sin embargo, el tiempo de curado es crucial en climas calurosos. Adicionalmente, es imperativo que en el diseño se contemple adecuadamente el posible daño que se le genera a la superficie de rodadura, la exudación y por ende la necesidad de proteger la superficie. Por su parte, el tiempo de curado depende de varios factores como lo son el tipo de cemento utilizado, la dosificación de la mezcla, la resistencia requerida y las dimensiones de la losa. Sin embargo, el tiempo debe ser lo más largo posible para asegurar que las propiedades del concreto se desarrollen adecuadamente. Temperaturas altas de curado aceleran el desarrollo de la resistencia en edades tempranas de la losa (ej. 7 días). No obstante, esto puede ser engañoso puesto que a períodos más largos (ej. 28 días) la ganancia en resistencia tiende a disminuir a altas temperaturas.

El tiempo de curado debe ser diseñado mediante pruebas de laboratorio. Sin embargo, esto no es suficiente pues se debe asegurar que el curado en campo sea el mismo que se diseñó en laboratorio: el tiempo requerido de curado, así como la aparición de deterioros prematuros deben ser evaluados en campo mediante tramos (losas) de prueba donde se simulen fielmente las condiciones de colocación, temperatura y curado del concreto a ser usado en las losas. Por tanto, como mínimo, se debería curar las losas por un período de 2 a 3 semanas, o más según indiquen las pruebas de laboratorio y campo. Como regla general, se debería curar las losas hasta que el desempeño o resistencia de las mismas exceda el 70% de lo especificado en el diseño.



Figura 2. Tramo de prueba experimental
Fuente: Nebraska Department of Roads

Para realizar el curado generalmente se siguen dos métodos distintos: proveer agua adicional ó tratar de mantener el agua en sitio. Generalmente se prefiere la primera opción pues para la segunda se requiere de membranas que no necesariamente proveerán una cobertura total de las losas, sin garantizar una pérdida de agua aceptable durante períodos prolongados. Por tanto, cuando se utilizan membranas de curado también

se recomienda utilizar agua adicional para garantizar su funcionamiento. Adicionalmente, si se utilizan compuestos de curado de pigmentación blanca, se debe asegurar su correcta aplicación, distribución (volumen) y cumplimiento con los requisitos del fabricante.



Figura 3. Aplicación de compuesto de curado.
Fuente: Concrete Construction

Como se mencionó anteriormente, las temperaturas elevadas en el proyecto son críticas en el aseguramiento del curado, pero también tienen otros efectos a considerar. Por temperatura elevada se entienden las altas temperaturas del aire, alta temperatura del cemento o concreto y baja humedad relativa, lo que adicionalmente se ve afectado por la radiación solar y la velocidad del viento. Cualquier combinación de los factores anteriores genera mayor demanda de agua, mayores tasas de pérdida por revenimiento, mayor tasa de fraguado, mayor potencial de contracción plástica y formación de costras, así como mayor dificultad en el control del contenido de aire. La norma ACI 305R-91 claramente indica que “es importante reconocer que el daño causado al concreto por climas calurosos nunca puede ser completamente recuperado”.

En general, los problemas asociados con climas calurosos se deben al incremento en la temperatura del concreto de las losas y la rápida pérdida de humedad de las mismas. Este incremento en la temperatura del concreto puede resultar no sólo en un incremento en las resistencias tempranas pero posibles problemas en la resistencia en etapas posteriores (como se mencionó con anterioridad), sino que también en un incremento en el potencial de agrietamiento térmico, tendencia a la contracción por secado y en general un mayor potencial a evidenciar problemas en las probetas de ensayo que se utilicen para verificación y control de la calidad.

Para evitar el agrietamiento térmico es importante minimizar la temperatura máxima del concreto de las losas. Se establece que temperaturas del concreto superiores a 32 °C incrementan las probabilidades de tener problemas de durabilidad o desempeño. Adicionalmente, hay que evitar diferenciales térmicos (temperatura interna del concreto) entre el fondo y la parte superior de la losa. Dicho diferencial de temperatura no debería exceder más de 4,5 °C.

Con todo lo anterior, lo que se pretende es resaltar que hay que planificar adecuadamente para minimizar el efecto de las altas temperaturas. Algunas recomendaciones de la Asociación de Cemento Portland, PCA, sugieren programar la colocación del concreto de las losas cuando los pronósticos del clima sean favorables, trabajar de noche, tener suficiente fuerza laboral para la colocación, tener el equipo y materiales necesarios antes de ser requeridos para evitar atrasos, tener redundancia en los equipos para minimizar el efecto de posibles fallas y humedecer la base sobre la cual se colocará el concreto de las losas.



Figura 4. Pavimentación nocturna.
Fuente: Arthur Ravenel Jr. Bridge

Una indicación importante a la hora de trabajar en climas cálidos es utilizar el concreto apropiado. Adicionalmente, se pueden utilizar aditivos retardadores y de ser posible, aumentar el revenimiento para mejorar la trabajabilidad. No obstante, es probable que se requiera del enfriamiento del concreto para asegurar las propiedades del mismo. Esto se logra disminuyendo la temperatura de los materiales antes del mezclado: en climas cálidos los agregados y el agua de mezcla se deben mantener lo más fríos posibles.

En condiciones como las presentes en el proyecto, se podría considerar usar maquetas de hielo para reemplazar el agua. Esta es una técnica muy efectiva que fue utilizada en las losas de concreto del Proyecto Limonal – Tempisque. Adicionalmente, se pueden enfriar los agregados rociándolos con agua. En caso de que las temperaturas sean aún inaceptables, se puede inclusive considerar el uso de nitrógeno líquido para enfriar. Para todas las consideraciones anteriores existen metodologías de cálculo disponibles.



Figura 5. Enfriado de agregados mediante agua
Fuente: Ocmer Impianti

Por otra parte, y a pesar de que la nota se enfoque en las precauciones a tener a la hora de colocar las el concreto de las losas, no hay que perder de vista que cuidados similares hay que tener con la base estabilizada y la construcción de las demás capas de la estructura. De principal cuidado son las capas de base estabilizada en las cuales se utilizará material recuperado. Por lo general el material recuperado no tiene las características de homogeneidad y graduación requeridas para la base. Por ende, hay que combinar el material con otros agregados, así como con cemento y agua para ser estabilizado. Dada la magnitud del proyecto, estas actividades de homogenización deberían ser realizadas en planta. De no ser esto posible, deberá utilizarse equipo especializado y un muy estricto control de calidad para garantizar la correcta homogenización del material a estabilizar.

También es importante resaltar que el material recuperado incluye asfalto el cual tiene una gravedad específica muy similar a la del agua, lo cual puede afectar la determinación de las condiciones óptimas de compactación. Esto es principalmente importante cuando existen recarpeteos recientes, así como tramos de mezcla asfáltica más viejos para los cuales las propiedades del asfalto han variado considerablemente: cuando se utilice material recuperado deberá haber un diseño para cada tramo de la estructura donde las condiciones del material a recuperar varíen.

Para finalizar, se resalta que los comentarios anteriores no buscan sugerir que es imposible o de gran dificultad asegurar que la calidad de las losas de concreto sea la debida. Lo que se quiere indicar es que como cualquier material compuesto, las losas de concreto y los materiales mejorados que van a ser utilizados en el Proyecto Cañas – Liberia deben ser diseñados apropiadamente y sometidos a estrictos y serios controles de calidad para asegurar que la inversión que se está realizando sea óptima y que las condiciones estructurales y funcionales de la ruta sean las que se diseñaron y concibieron en los planos y especificaciones del proyecto.