PROPIEDADES MECÁNICAS DE UN DISEÑO DE HORMIGÓN COMPACTADO CON PAVIMENTADORA Y FAST TRACK TRABAJANDO EN CONJUNTO

Cristian Velasco Ochoa [1], Hugo Egüez Alava [2]
1 Ingeniero Civil 2005
2 Director de Tesis. Ingeniero Geólogo, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1985 – MSc. Ingeniería de Procesamiento Mineral, Universidad Estatal de Virginia del Oeste, W.Va. EE.UU., 1987, Profesor de ESPOL desde 1987.

ABSTRACT

This research is about the mechanical properties of a Roller Compacted Concrete desing and Fast Track working as a single element, this constructive system arises for the need of taking advantage of RCC properties, which develops high resistances with low cement content, nevertheless its texture is not comfortable for using in heavy traffic hihghways, for this reason it was designed a combined concrete using RCC and a Fast Track's top layer wich can be texturizable and allows putting into service the pavement in short term, without involving major costs increases.

RESUMEN

El presente trabajo trata acerca de las propiedades mecánicas de un diseño de hormigón compactado con pavimentadora y fast track trabajando como un solo elemento, este sistema constructivo surge ante la necesidad de aprovechar las bondades del hormigón compactado, ya que este permite obtener altas resistencias con un bajo contenido de cemento, sin embargo por su textura no es posible utilizarlo en vías de tráfico rápido y pesado, por esta razón se diseñó un hormigón combinado utilizando HCP y una capa de Fast Track que puede ser texturizable permite poner en servicio el pavimento en un corto plazo, sin que esto implique un mayor aumento en el costo del mismo.

INTRODUCCIÒN

El hormigón compactado con pavimentadora es ampliamente conocido y utilizado en muchos países por sus diferentes características, siendo las más importantes su mayor densificación y menor relación agua/cemento, ofreciendo mayores resistencias, constituyéndose en una alternativa económica para la construcción de pavimentos rígidos muy similares a aquellos construidos con un diseño de hormigón convencional; sin embargo, normas internacionales proponen que para vías de trafico rápido y autopistas es necesario efectuar un texturizado superficial con el fin de mejorar la adherencia entre los neumáticos y el pavimento, dicho acabado no puede ser conseguido utilizando la tecnología del HCP.

Atendiendo este requerimiento y principalmente para aprovechar las ventajas del HCP se han realizado pruebas con un hormigón combinado utilizando como base el HCP y como capa de rodadura un hormigón de menor espesor, Fast Track, el cual es posible texturizar, además de que permite poner en servicio el pavimento a corto plazo.

El presente trabajo proporciona las dosificaciones tanto para el HCP como para el Fast Track y se estudia el comportamiento mecánico de esta combinación, en que ambos elementos trabajan estructuralmente como uno solo, mediante una serie de ensayos de laboratorio y pruebas de campo que nos permiten comprobar la confiabilidad y factibilidad de este sistema constructivo, el cual podría convertirse en una solución a los problemas viales de nuestro País.

CONTENIDO

SELECCIÓN DE LA DOSIFICACIÓN PARA EL HCP

Tomando como base un contenido de cemento de 250 Kg/m^3 se evaluó mediante ensayos Proctor (ASTM D 1557) la proporción adecuada de arena triturada que ofrezca aparte de una máxima densidad y una humedad óptima, una textura gruesa/rugosa que garantice una mejor adherencia en la interfase HCP+FT, siendo la más adecuada aquella donde se utilizó 40% de arena de trituración, obteniéndose una densidad de 2230 Kg/m^3 con una humedad óptima del 6,5%, sin embargo de pruebas realizadas en campo se ajustó esta densidad a un valor óptimo de 2220 Kg/m3 obteniéndose la dosificación final para HCP que se muestra en la tabla I a continuación:

TABLA I Proceso de cálculo para la dosificación del HCP

Dosificación	**kg/m³**	**Contenido de Agregados**	**% Absorción**	
Cemento IP (HE):	250		**%**	**Kg/m^3**
Piedra TM 12 mm:	591	30,00%	1,5	8,9
Piedra TM 19 mm:	591	30,00%	1,5	8,9
Arena triturada:	788	40,00%	3,0	23,6
Densidad Campo:	2220		**TOTAL**	**41,37**
Agua Total	144,3	Agua Efectiva=Agua Total - 41,37 ; Rel. a/c = 0,41		
Agua Efectiva	103			
Polyheed RI	1% del contenido de cemento			

SELECCIÒN DE LA DOSIFICACIÓN PARA EL FAST TRACK

La obtención de la dosificación del FT tomo como base un diseño utilizado en experiencias previas en el Centro Técnico del Hormigón, en los cuales se ajustó el porcentaje de aditivo superplastificante utilizado a un 1,27 % del contenido de cemento, y la adición de Zeolita en un 10 % del contenido de cemento, basado en el estudio realizado recientemente en que la adición de Zeolita en esta proporción mejora las cualidades del hormigón principalmente la resistencia, de esta manera el diseño final del FT es el siguiente:

TABLA II Diseño Final de FT

Dosificación	**Kg/m³**	**Contenido de Agregados**
Cemento tipo I:	450	
Piedra No. 7:	532,8	60%
Piedra No. 67:	355,2	40%
Arena triturada:	531,3	70%
Arena de río:	227,7	30%
Densidad	2097,0	
Zeolita	10% del contenido de cemento	
Hipermix	1,23 % del contenido de cemento	
Agua	130	Rel. a/c = 0,29

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DEL HORMIGÓN COMPACTADO CON PAVIMENTADORA Y DEL FAST TRACK.

Características Mecánicas del HCP.

Si bien el ACI y el ASTM no señalan procedimientos estandarizados para la elaboración y evaluación de los especimenes de este tipo de hormigón (HCP), las experiencias realizadas en laboratorios permiten asegurar que los procedimientos evaluación de las propiedades mecánicas de un hormigón convencional son aplicables para evaluar el HCP, lo que ha permitido comprobar que la baja relación agua cemento más un alto grado de compactación produce una máxima resistencia, lo que equivale a un mínimo consumo de cemento y a máxima economía.

Resistencia a la Compresión del HCP.

El diseño de HCP propuesto en esta investigación, con un contenido de cemento de 250 Kg/m^3, alcanza resistencias a la compresión de 23,3 MPa. a los 28 días gracias a su baja relación agua cemento y su elevada compactación, alcanzando el 69% de su resistencia a tan sólo 3 días de haber sido colocado.

Resistencia a la tracción por compresión diametral del HCP.

La resistencia a T.C.D. en el diseño propuesto tiene un valor de 3,1 MPa. a 28 días obteniendo el 70% de su resistencia a los 7 días de haber sido colocado.

Resistencia a la flexión del HCP.

En un hormigón convencional, las partículas de los agregados permanecen dispersas en la pasta de cemento y de este modo no se produce cabal contacto permanente entre ellas, mientras que en HCP ocurre todo lo contrario, en donde si se produce contacto entre las partículas de los agregados, lo que quiere decir que la resistencia mecánica de éstos adquiere mayor influencia en la resistencia a flexión del HCP.

La resistencia a la flexión del diseño de HCP presentado tiene un módulo de rotura de 4,53 MPa. a los 28 días, se puede afirmar que es un comportamiento más eficiente al de un hormigón convencional.

Módulo de elasticidad del HCP.

El módulo de elasticidad es otra característica del HCP que se pudo obtener con facilidad utilizando el mismo mecanismo empleado con un hormigón convencional, se estableció que el modulo de elasticidad fue de 21,65 GPa.

Retracción por secado del HCP.

Se determinó de manera experimental que la retracción del diseño de HCP es de $440x10^{-6}$, en donde el HCP fue expuesto a secado en un ambiente no saturado.

Otras propiedades.

Otras propiedades como el comportamiento a la fatiga es similar al de los hormigones convencionales, mientras que la durabilidad a través de proyectos ejecutados en climas donde se presentas severos casos de congelamiento y deshielo, el comportamiento del HCP no ha demostrado fallas en este campo.

Características Mecánicas del Fast Track.

Resistencia a la Compresión del Fast Track.

El diseño de FT presentado en esta investigación, con un contenido de cemento de 450 Kg/m^3, alcanza resistencias a la compresión de 68,3 MPa. a los 28 días gracias a su baja relación agua cemento alcanzado mediante el uso de una aditivo reductor de agua de alto rango y a la adición de zeolita molida, alcanzando el 87% de su resistencia a tan sólo 3 días de haber sido colocado.

Resistencia a la tracción por compresión diametral del Fast Track.

La resistencia a T.C.D. en el diseño propuesto tiene un valor de 6,6 MPa. a 28 días obteniendo el 77% de su resistencia a los 3 días de haber sido colocado.

Resistencia a la flexión del Fast Track.

La resistencia a la flexión del diseño de FT presentado tiene un módulo de rotura de 8,3 MPa. a los 28 días, al obtener valores elevados en los módulos de rotura en la resistencia a T.C.D como en la flexión el factor de relación entre estos va a ser de 1,25 .

Modulo de elasticidad del Fast Track.

El módulo de elasticidad que posee el diseño de Fast Track es de 26,05 GPa.

Retracción por secado del Fast Track.

Se determinó de manera experimental que la retracción del diseño de FT es de $485x10^{-6}$, en donde el FT fue expuesto a secado en un ambiente no saturado.

Características Mecánicas del HCP+FT.

Como normalmente los pavimentos rígidos se diseñan en función de la resistencia a la tracción del hormigón (MR), las caracterización del HCP+FT se realizó tratando de establecer su verdadera capacidad para soportar esfuerzos de tracción y no esfuerzos de compresión.

Resistencia a la flexión del HCP+FT.

La resistencia a la flexión del diseño de HCP+FT presentado tiene un módulo de rotura de 5,3 MPa. a los 28 días, con un comportamiento monolítico del HCP y del FT, superando el módulo de rotura de 4 MPa. que regularmente se acostumbra como resistencia especificada en nuestro país.

Resistencia a la tracción por compresión diametral del HCP+FT.

El valor del la resistencia a la tracción del HCP+FT es 3,8 a los 28 días, valor obtenido de núcleos calados en vigas de HCP+FT.

Otras características del HCP+FT.

A nivel de interfase entre el HCP y FT se pudo comprobar tanto mediante estudios analíticos, que ni los esfuerzos tangenciales producidos por el diferencial de retracción ni por gradientes térmicos son lo suficientemente representativos para producir desprendimiento en la interfase, resultados que fueron comprobados mediante ensayos destructivos los cuales tampoco produjeron fisuras ni desprendimientos, garantizando la total adherencias entre el HCP y el FT.

La figura 1 muestra un cilindro de HCP+FT ensayado mediante tracción por compresión diametral y una viga ensaya a flexión, en ambos casos se puede afirmar que no se produjo ningún problema a nivel de interfase, ni desprendimientos ni fisuras, estos ensayos se realizaron a distintas edades obteniéndose los mismos resultados

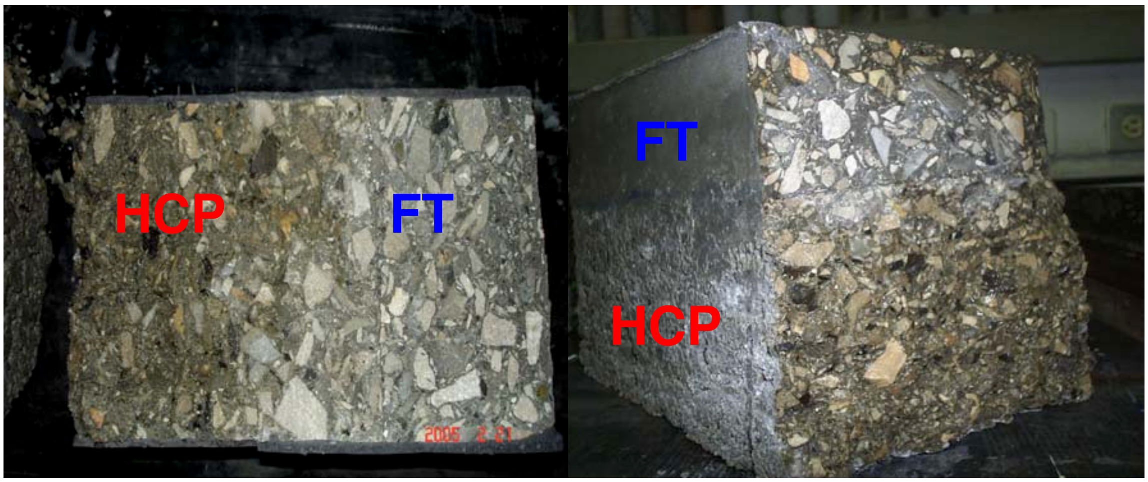

FIGURA 1 Muestras ensayadas soportaron la rotura sin mostrar desprendimiento en la interfase

Adicionalmente se verificó mediante ensayos de ultrasonido que el elemento de estudio, es decir el HCP+FT, no presenta discontinuidades ni fisuras, también se comprobó la no existencia de espacios vacíos o porosidades ensayando el mismo elemento en condición saturada y en condición seca, lo cual nos garantiza que el HCP + FT es un hormigón isótropo y monolítico

FIGURA 2 Ensayo de ultrasonido en vigas de HCP+FT en estado seco y saturado

ESTUDIO ECONOMICO DE LA SOLUCIÒN HCP+FT

TABLA III Presupuesto del diseño HCP+FT (23 cm. espesor)

	Espesor (m)	kg/m3	lt/m3	$/kg	$/lt	$/m3	$/m2
HCP							
Cemento IP	0,16	250		0,084		21	3,36
Arena Trit.	0,16	788		0,006		4,58	0,73
Piedra No. 67	0,16	591		0,005		2,96	0,47
Piedra No.7	0,16	591		0,005		2,96	0,47
Aditivo	0,16		2,5		0,45	1,13	0,18
					subtotal	32,61	5,22
FT							
Cemento I	0,07	450		0,075		33,75	2,36
Arena Trit.	0,07	531,3		0,006		3,19	0,22
Arena Nat.	0,07	227,7		0,006		1,37	0,10
Piedra No.67	0,07	355,2		0,005		1,78	0,12
Piedra No.7	0,07	532,8		0,005		2,66	0,19
Aditivo	0,07	5,5		1,25		6,88	0,48
Curador						0,70	0,16
					subtotal	50,32	3,63
					TOTAL	82,93	8,85

El presupuesto presentado en la tabla III corresponde al diseño de HCP+ FT, para un pavimento con un espesor de 23 cm. utilizando 16 cm. de HCP con 250 kg. de cemento por m^3 de hormigón y 7 cm. de FT con 450 kg. de cemento por m^3 de hormigón, para el cual se obtiene un costo de 8,85 $\$/m^2$.

TABLA IV Precios unitarios para diferentes tipos de pavimentos

Tipos de pavimentos	$/m3
Hormigón convencional* vibrado	90,00
HCP**	88,48
Carpeta Asfáltica*	87,04
HCP + FT**	82,93
Base Asfáltica*	80,00
Base Pétrea*	19,30
Subbase Pétrea*	16,80

* Precios unitarios de Enero 2000, ** Precios unitarios de Agosto 2005

Comparando los costos de la tabla IV , es importante señalar que por un costo no superior al de un pavimento equivalente de HCP, se puede construir una vía con HCP+FT con las características requeridas para tráfico y pesado, las cifras demuestran que se pueden construir pavimentos con la combinación HCP+FT, que tengan las mismas características de rodadura que un pavimento de hormigón convencional, con la ventaja de que la apertura al tráfico puede realizarse 48 horas después de su construcción.

Adicionalmente la propuesta HCP+FT tiene la ventaja de que no necesita un mantenimiento ni reparaciones costosas y periódicas que requiere un pavimento asfáltico para tenerlo en óptimas condiciones, incluso el costo inicial de construcción es menor, desvirtuando la creencia de que los pavimentos de hormigón tienen un elevado costo inicial, sin considerar que la economía de un pavimento no debe medirse en función del costo inicial, sino a través del costo del conjunto de obras que se realizan para mantener la vía durante el tiempo de su vida útil.

CONCLUSIONES

De la revisión de todo lo expuesto sobre este procedimiento constructivo, experiencias previas en campo y de laboratorio se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- La ejecución del sistema constructivo HCP+FT es totalmente factible, y se lo ha demostrado a través de tramos de pruebas y obras de carácter oficial, las cuales se encuentran prestando servicio hasta la actualidad en condiciones óptimas.

- Los pavimentos realizados con este sistema tienen las mismas características de acabado y duración que un pavimento rígido convencional, con la ventaja de poder abrirse al tráfico en muy poco tiempo.

- Por su costo representa una alternativa conveniente para desarrollar proyectos viales de tráfico intenso, autopistas y aeropuertos.

- Las propiedades mecánicas evaluadas de manera individual tanto en el HCP como en FT, resistencia a la compresión, tracción y flexión, son altamente satisfactorias, lo cual se vio reflejado y comprobado al momento de evaluar el HCP+FT en conjunto.

- Una adecuada dosificación de agregados, (60% agregado grueso – 40% arena de trituración) en la elaboración del HCP, produce una textura adecuada para desarrollar una adherencia total en la interfase HCP-FT, además que el uso de materiales angulosos provenientes de trituración proporciona una mayor fricción entre agregados que se traduce en un aporte importante para la resistencia del hormigón.

- De la experiencia obtenida en campo y el laboratorio, se puede mencionar que la adherencia HCP+FT también depende del tiempo de colocación entre una capa y otra, el cual debe ser en el menor posible, ya que se debe recalcar que este sistema constructivo NO requiere ligante alguno entre ambas capas.

- Se comprobó mediante estudios analíticos y ensayos destructivos, la total adherencia en la interfase HCP-FT, ya que los esfuerzos generados por el gradiente térmico, y diferencial de retracción no son los suficientemente representativos para provocar desprendimiento entre el HCP y FT, mientras que los ensayos destructivos fueron superados satisfactoriamente a la rotura sin provocar el más mínimo indicio de desprendimiento o fisuración en la interfase.

- Mediante ensayos de ultrasonido se verificó que el sistema HCP+FT es monolítico, es decir que actúa como un solo elemento; e isótropo, en otras palabras que mantiene sus características constantes en cualquier punto del elemento.

REFERENCIAS

1. ADAM M. NEVILLE, Tecnología del concreto, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

2. CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, Hormigón Compactado con Pavimentadora (HCP), Serie Monografías n. 013.

3. DISENSA, Guía de proceso para pavimentos con HCP – Fast Track.

4. ING CAMPOSANO LUQUE JOSE A., El Hormigón Compactado con Pavimentadora y el " Fast Track" trabajando en conjunto para la construcción de autopistas, Centro Técnico del Hormigón, Serie Monografías n.017.

5. STEVEN H. KOSMATKA, BEATRIX KERKHOFF, WILLIAM C. PANARESE, Y JUSSARA TANESI, Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Portland Cement Association.

6. ACI 325.1R-01, Accelerated techniques for concrete paving.

7. ASTM, Annual book of ASTM Standards, Section 4 Construction