Revista Tecnológica ESPOL, Vol. Xx, N. xx, pp-pp, (Febrero, 2009)

Diseño de la dosificación para Hormigón Compactado con Rodillo y de una Base de Agregados Estabilizadas con Cemento para su uso en las Vías de Manabí

Juan Pablo Valle Gómez, Ing. Hugo Egüez
Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Km. 30.5 vía Perimetral, Guayaquil, Ecuador
pvalle@espol.edu.ec, heguez@espol.edu.ec

Resumen

El Hormigón Compactado con Rodillo (HCR), es un material cuya aplicación se inició a finales del siglo XIX, pero que sólo se usó en mayor escala, especialmente en la construcción de presas, a partir del tercer decenio del siglo pasad , mientras que la Base de Agregados Estabilizada con cemento(BAEC) es ampliamente usada como base para pavimentos de carreteras, caminos, calles y áreas de estacionamiento, aeropuertos y patios de almacenamiento o bodegas; el objetivo de esta tesis de grado es realizar la dosificación para un Hormigón Compactado con Rodillo y de una Base de Agregados Estabilizadas con Cemento para ser usado en las Vías de Manabí, con el objetivo de reforzar la actual estructura de pavimento, tomando como base que el HCR, debido a su mayor densificación y menor relación agua/cemento, ofrece mayores resistencias, constituyéndose en una alternativa económica para la construcción de pavimentos rígidos y que con el uso de la BAEC nos permite disminuir espesores de agregados para la estructuración de las capas de pavimentos, debido a su mayor rigidez

Palabras claves: *Dosificación, Hormigón Compactado con Rodillo, Base de Agregados Estabilizada con cemento, Pavimento, Densificación, Relación Agua/Cemento, Rigidez, Espesores.*

Abstract

Roller-Compacted Concrete (RCC),is a material which application began at the end of 19th century, but only was used in a greater scale, especially in the construction of dams, at the beginning of the third decade of the past century, while Cement Treated Base (CTB) is widely used as base for pavements of roads, ways, streets and parking areas, airports and courts of storage or warehouses; The target of this thesis is to make the proportion for one Roller-Compacted Concrete and Cement Treated Base to be used for the roads of Manabi, to reinforce the current structure of their pavement, taking as base RCC, for its greater densification and lower w/c ratio. CTB gives bigger resistances, making it an economic alternative for the construction of rigid pavements and that also allows us to reduce thicknesses for the structure of the layers of pavements, due to its greater stiffness.

Key Words: *Dosing, Roller-Compacted Concrete, Cement Treated Base, Pavements, Densification, w/c ratio, Stiffness, thicknesses*

1. Introducción

El presente trabajo trata del "Diseño de la dosificación de Hormigón Compactado con Pavimentadora y de una Base de Agregados Estabilizadas con Cemento para su uso en las Vías de Manabí", partiendo de la actual estructura de pavimento, tomando como base que el hormigón compactado con rodillo (HCR) debido a su mayor densificación y menor relación agua/cemento, ofrece mayores resistencias, constituyéndose en una alternativa económica para la construcción de pavimentos rígidos muy similares a aquellos construidos con un diseño de hormigón convencional; y que la base de agregados estabilizada con cemento (BAEC) nos permite disminuir espesores para la estructuración de las capas de pavimentos, debido a su mayor rigidez; también nos permite hacer uso de la mayoría de agregados presentes en la naturaleza.

El HCR fue usado inicialmente en la construcción de presas, pero la fabricación de equipos adecuados permitió ampliar la utilización del HCR hacia vías de poco tráfico, patios de estacionamiento y posteriormente hacia vías de mayor importancia y Aeropuertos.

Las características y propiedades mecánicas de los hormigones empleadas en HCR y los convencionales son iguales[1].

La BAEC es ampliamente usada como base para pavimentos de carreteras, caminos, calles y áreas de estacionamiento, aeropuertos y patios de almacenamiento o bodegas, la adición de cemento hace que los espesores requeridos sean menores a los de agregados de bases granulares[2].

El terreno nartural de Manabí es un material que está constituido por los suelos residuales, que son arcillas muy plásticas y expansivas, también existen grandes áreas cubiertas de limos con un alto grado de colapsibilidad y dispersión; que por sus características son muy fáciles de movilizar y que al poco tiempo de ser excavados pierden sus propiedades de resistencia, por lo que son fácilmente erosionables, en particular por los efectos de las corrientes de agua[3].

Es por esta razón que antes realizar la colocación de las capas de pavimento se excavará una profundidad dada para que el pavimento nuevo se asiente sobre lo que quede de la actual capa de base granular

2. Bases de Agregados Estabilizadas con Cemento (BAEC)

Es una mezcla física de agregados pétreos, cantidades medidas de cemento Portland y agua, que endurece después de compactarse y curarse para formar un material de pavimento durable.

Es prácticamente impermeable por lo que es resistente a los ciclos de enfriamiento y de lluvia y a los daños causados por las variaciones climáticas. Además, como consecuencia del fenómeno de hidratación del cemento, continúa ganando resistencia con la edad.

Con el fin de conseguir una máxima economía la Portland Cement Association (PCA) recomienda los siguientes límites granulométricos:

Tamaño del tamiz	% pasante en peso
50 mm (2")	100
4.75 mm (N°4)	55-90
2.00 mm (N°10)	37-67
0.75 mm (N°200)	0-30
Fondo	10 máximo

Tabla 2.1 Gradación de agregados para BAEC

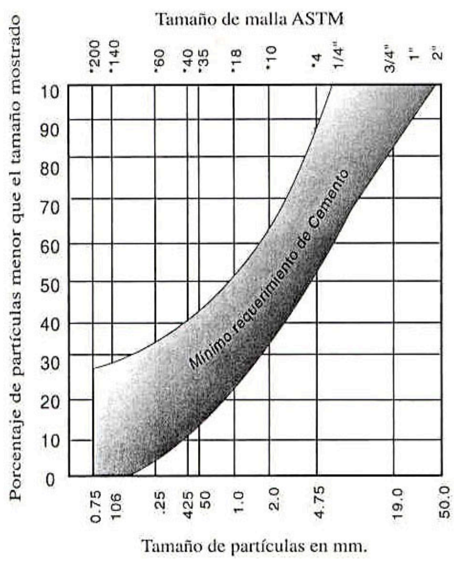


Figura 2.2. Granulometría

Aunque la gráfica anterior es una recomendación de la PCA, para el desarrollo de esta tesis se usó el siguiente arreglo granulométrico con el que se han obtenido buenos resultados en el Centro Técnico del Hormigón:

Tamaño del tamiz	% pasante en peso
37.5 mm (1.5”)	100
25.4 mm (1”)	70-95
19 mm (3/4”)	55-85
12.5 mm (1/2”)	47-77
9.5 mm (3/8”)	37.5-67.5
4.75 mm (Nº 4)	30-60
2.36 mm (Nº 8)	25-52.5
1.18 mm (Nº 16)	20-45
600 µm (Nº 30)	15-37.5
300 µm (Nº 50)	8.3-25
150 µm (Nº 100)	6.65-20
75 µm (N°200)	5-15

Tabla 2.3. Gradación para BAEC (CTH)

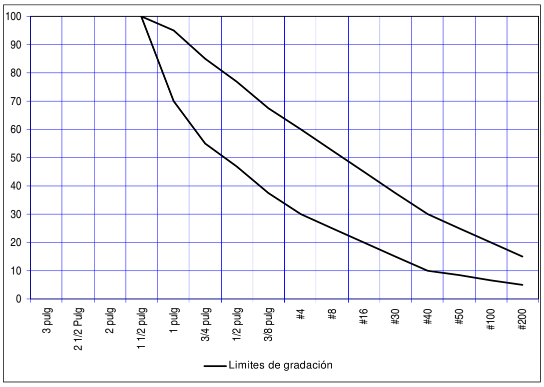


Figura 2.3. Gradación para BAEC (CTH)

Para la colocación de la BAEC se deben seguir los siguientes pasos:
-Preparación inicial
-Escarificación, Pulverización y Prehumedecido
-Esparcimiento del cemento Portland
-Mezclado en seco
-Aplicación del agua y mezcla humedad
-Compactación
-Acabado
-Curado
-Verificación de densidad
Y nos presenta las siguientes ventajas:
-Proporcionar apoyo uniforme a la losa de concreto
-Ayuda a prevenir expansiones y contracciones excesivas en suelos volumétricamente inestables
-Incrementar la capacidad portante de los suelos de apoyo, respecto a la que es común en las terracerías y capa subrasante.
-Ayudar a controlar levantamiento diferencial por congelamiento.
-Evitar el bombeo de suelos finos.

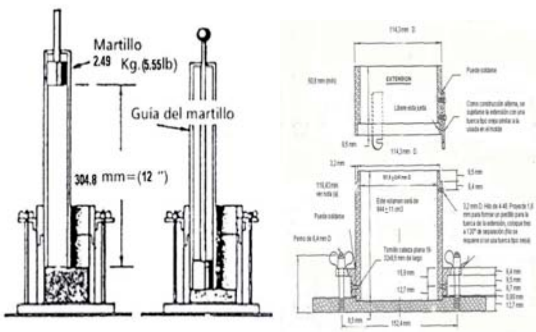
La BAEC es ampliamente usada como base para pavimentos de carreteras, caminos, calles y áreas de estacionamiento, aeropuertos y patios de almacenamiento o bodegas.

Para la elaboración de la BAEC se utilizó cemento tipo IP (HE) elaborado por HOLCIM, agregados de la cantera de Chorrilo en Manabí tipo base 1ª, denominación del Ministerio de Obras Públicas del Ecuador (MOP) tamaño mayor a 3/8” y 1A menor a 3/8”, aditivo retardante de fraguado y reductor de agua de medio rango el Polyheed RI y agua.

A los agregados se les realizó el ensayo de granulometría con el fin de poder hacer la combinación adecuada de los mismos.

Para obtener la cantidad adecuada de agua se realizó el ensayo próctor estándar que consiste en llenar moldes cilíndricos estandarizados con la mezcla de agregados, cemento, aditivo y agua en diferentes proporciones, se compacta con un martillo que se deja caer desde una altura dada se enrasa y se pesan los moldes, se lleva al horno una muestra de 500 gr aproximadamente y luego de 24 horas se pesa y se determina la cantidad de agua que dio la mayor densidad que se obtiene del gráfico.

Figura 2.4 Muestra de los agregados Finos y Gruesos



Figuras 2.9 y 2.10 Dimensiones de martillo y molde metálico

Luego de obtenida la cantidad de agua óptima para la mezcla se realiza la preparación de la mezcla para luego hacer los especímenes y realizar las pruebas de resistencia.

3. El Hormigón Compactado con Rodillo (HCR)

Previa a la colocación del HCR la capa inferior debe cumplir con los requisitos mínimos de calidad.

Las fases comprendidas en el proceso constructivo del HCR son:

- Provisión de Hormigón
- Construcción de maestras de hormigón
- Determinación del porcentaje de compactación
- Rodillado para compactación final

Figura 3.6 Esquema gráfico del procedimiento constructivo HCR

El HCR presenta la ventaja de permitir una abertura rápida al tráfico y con una vida útil que sobrepasa los 40 años con un módulo de rotura de 4.0-4.5 Mpa.

Es posible construir, calles, carreteras, autopistas, pistas de aeropuertos, pavimentos industriales, estacionamientos, etc.

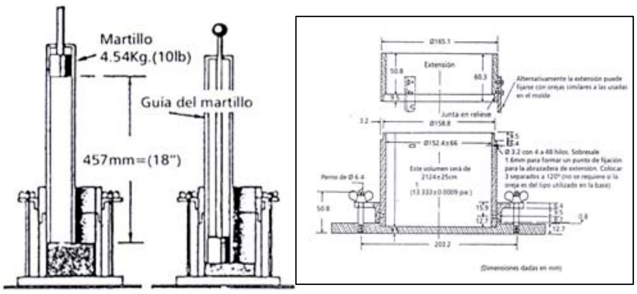
Las pruebas de laboratorio nos muestran que las propiedades mecánicas de un hormigón compactado con rodillo son similares a las de un hormigón convencional

Para la elaboración del HCR se utilizó cemento tipo IP (HE) elaborado por HOLCIM, agregados de la cantera de Chorrilo en Manabí piedra de tamaño Nº 6 y 7 provenientes de basalto triturado de la cantera Chorrillo, y el agregado fino estará constituido por una mezcla de arena manufacturada por trituración y por arena de mar, aditivo retardante de fraguado y reductor de agua de medio rango el Polyheed RI y agua.

A los agregados se les realizó el ensayo de granulometría con el fin de poder hacer la combinación adecuada de los mismos.

Para obtener la cantidad adecuada de agua se realizó el ensayo próctor modificado que consiste en llenar moldes cilíndricos estandarizados con la mezcla de agregados, cemento, aditivo y agua en diferentes proporciones, se compacta con un martillo que se deja caer desde una altura dada se enrasa y se pesan los moldes, se lleva al horno una muestra de 500 gr aproximadamente y luego de 24 horas se pesa y se determina la cantidad de agua que dio la mayor densidad que se obtiene del gráfico[4].

Figura 3.7 Muestra de los agregados Finos y Gruesos



Figuras 3.13 y 3.14 Dimensiones del martillo y del molde metálico

Luego de obtenida la cantidad de agua óptima para la mezcla se realiza la preparación de la mezcla para luego hacer los especímenes y realizar las pruebas de resistencia (compresión simple, tracción por compresión diametral y flexión)

4. Estudios en la vía

Se toma como punto de partida para el estudio la vía Jipijapa – El Anegado, por presentar hundimientos y elevaciones producidas por fallas en la subrasante debido a la presencia de arcillas y humedad, el 13.7% del proyecto se encuentra comprometido con esta falla.

Inicialmente se procedió a efectuar un inventario de cada uno de los tramos que conforman el Anillo Vial, realizado por el Honorable Consejo Provincial (HCP) Manabí con el fin de recopilar información necesaria para determinar el cálculo de los espesores de las capas de HCR y BAEC propuestos.

Algunas de las investigaciones nos dieron los siguientes resultados que son los valores considerados críticos y que nos servirán para determinar los espesores del pavimento.

Del conteo se obtuvo la siguiente cantidad de vehículos en el tramo Manta - Portoviejo

Livianos	2 ejes	3 ejes	4 ejes	5 ejes	+5 ejes
748	158	21	5	38	38

Del tramo La Pila – Guayabal se obtuvo el valor de CBR más bajo, esto es 7.57% y un valor de crecimiento del 2%

Adicional a la información proporcionada por el HCP de Manabí se realizó el ensayo CBR de campo en los tramos Jipijapa – El Anegado y Montecristi – Portoviejo y se realizó ensayos de laboratorio a una muestra de suelo extraído del primer tramo.

Características de la Arcilla de la zona de Jipijapa - El Anegado		
Límite Líquido	55,10	%
Límite Plástico	27,76	%
Índice de Plasticidad	27,34	%
Límite de Contracción	9,76	%
Gravedad Específica	2,43	
G expansión	26,06	T/m2

Tabla 4.20. Características de la Arcilla de la zona de Jipijapa - El Anegado

5. Resultados de las pruebas de laboratorio realizadas sobre BAEC y HCR

A continuación se detallan los resultados obtenidos de los ensayos descritos en los capítulos 2 y 3, en donde se incluyen tanto las curvas granulométricas, mezclas granulométricas, las curvas obtenidas de los ensayos proctor que sirven para determinar el diseño patrón de la BAEC y de HCR, posteriormente se adjuntan los resultados del desarrollo de las resistencias obtenidas por las muestras de la BAEC y de HCR a distintas edades mediante ensayos destructivos

Para los materiales de la BAEC, una vez obtenida su granulometría, se realizó su combinación y se obtuvo:

Dosificación	**Kg/m3**	**Contenido de agregados**
Cemento IP (HE):	88	
Material retenido 3/8”	947	45,0%
Material pasante 3/8”	1158	55,0%
Polyheed RI	1% del contenido de cemento	

TABLA 5.3 Dosificación con 4% de cemento

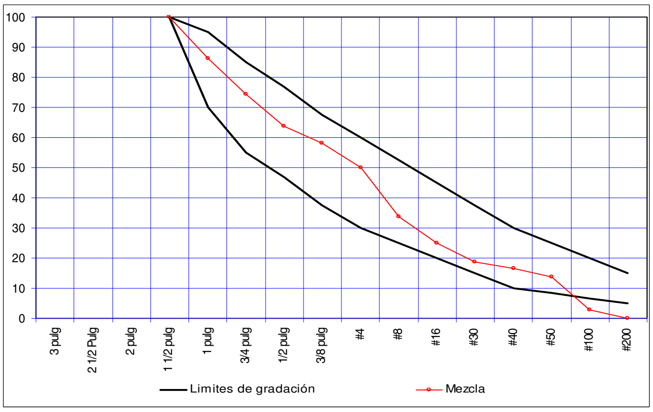


FIGURA 5.3 Combinación Granulométrica para BAEC

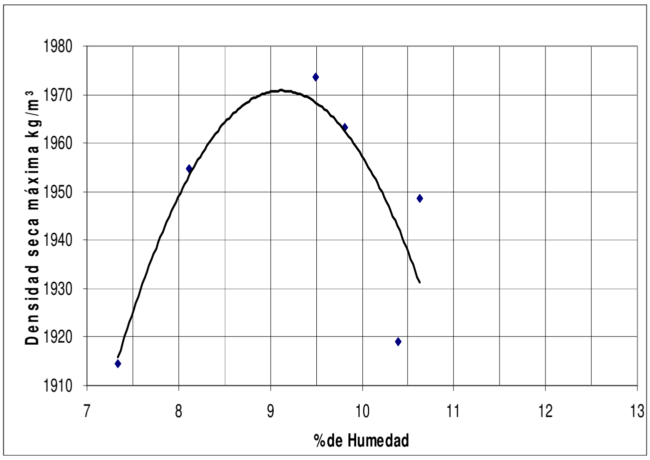


FIGURA 5.4 Curva densidad máx. vs. % humedad Humedad óptima: 9 %

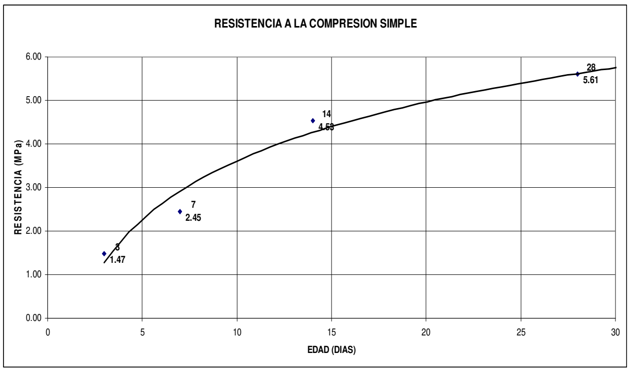


FIGURA 5.5 Desarrollo de resistencia obtenida por la BAEC (4% de cemento)

Dado que el diseño con 4% de cemento no sobrepasa los 6MPa a los 7 días para cumplir el criterio de durabilidad se aumenta el porcentaje de cemento a 5% y se obtiene:

FIGURA 5.6 Desarrollo de resistencia obtenida por la BAEC (5% de cemento)

Para los materiales del HCR, una vez obtenida su granulometría, se realizó su combinación y se obtuvo:

Dosificación	Kg/m3	Contenido de agregados
Cemento IP (HE):	300	
Piedra No. 6	494	26,0%
Piedra No. 7	304	16,0%
Arena triturada:	855	45,0%
Arena natural de mar:	247	13,0%
Polyheed RI	1% del contenido de cemento	

TABLA 5.11 Dosificación para HCR

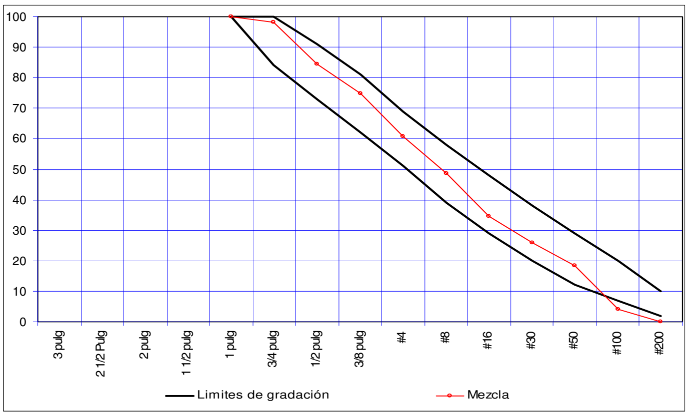


FIGURA 5.11 Combinación Granulométrica ACI 325.10R

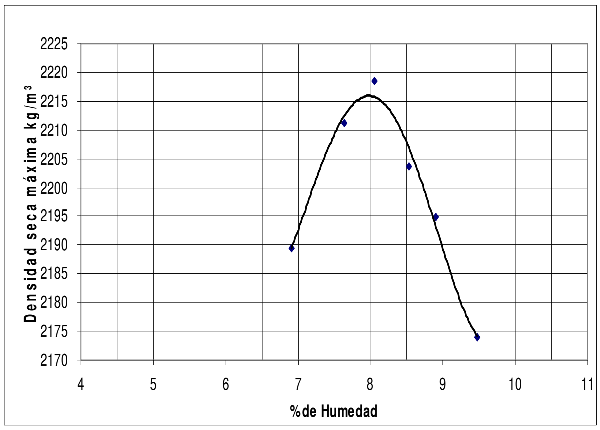


FIGURA 5.12 Curva densidad máx. vs. % humedad Humedad óptima 8%

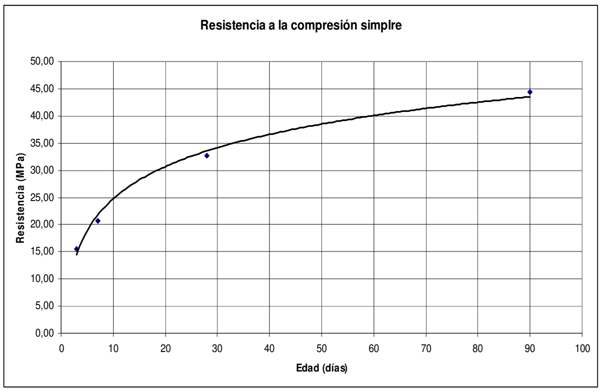


FIGURA 5.13 Desarrollo de resistencia a la compresión simple obtenida por el HCR

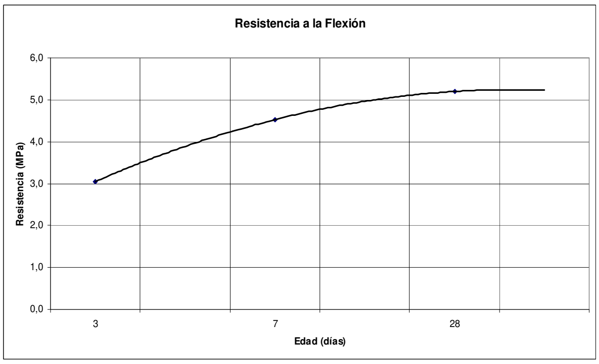


FIGURA 5.14 Desarrollo de resistencia a la flexión obtenida por el HCR

Con 300Kg/m^3 de cemento se obtiene una resistencia a la flexión que supera los 4.5 MPa que es la resistencia de diseño.

6. Determinación de espesores

Para determinar los espesores se parte de la información obtenida del estudio del HCP Manabí, el tráfico, el valor de soporte de la subrasante, tiempo de diseño y factor de crecimiento, siendo así para la BAEC se parte con estos valores:

$k = 4.79$ Kg/cm^3; NR = 12437194

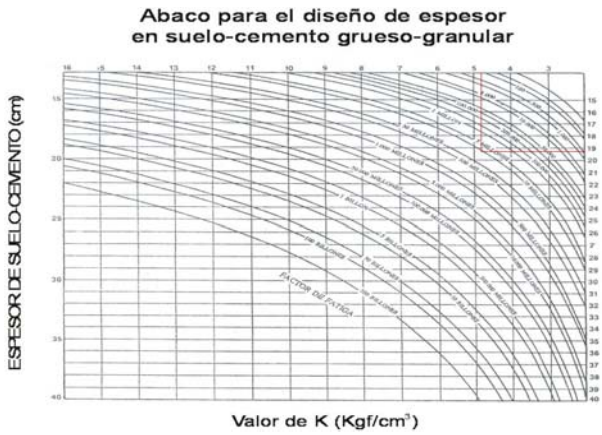


FIGURA 6.1 Determinación del espesor de BAEC en función del valor k de la subrasante y del Número de repeticiones (NR)

Se obtiene un espesor de 19 cm, pero por efectos constructivos se proponen 20 cm

Para el espesor de HCR se tiene la siguiente información:

Módulo de elasticidad	27000 MPA
Coeficiente de poisson	0,15
K combinado (subrasante-capa de BAEC)	183 Mpa/m
Máx. carga de rueda simple	0,021 MN
Presión inflado de neumático	0,7 Mpa
Separación entre ruedas	0,50 m
Número de repeticiones	12437194

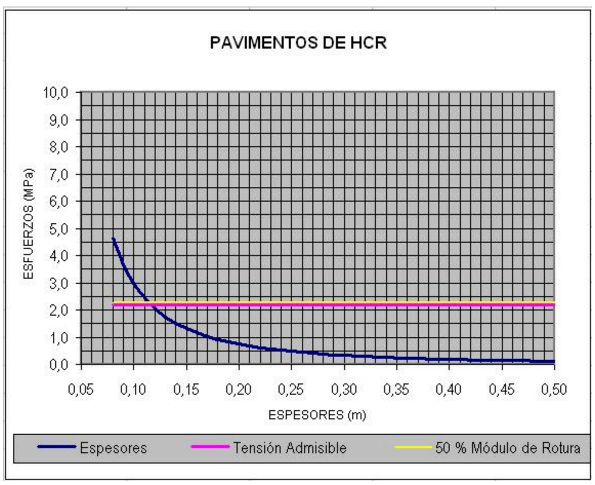


FIGURA 6.3 Determinación de espesor de HCR

Utilizando la hoja electrónica proporcionada por el Centro Técnico del Hormigón tenemos que el espesor necesario para soportar las cargas de tráfico con las situaciones dadas es de 12 cm pero por recomendación del ACI se utilizará un espesor de 16 cm.

7. Conclusiones y recomendaciones

Luego de realizado el ensayo próctor estándar para BAEC se determino que el porcentaje de humedad óptimo es 9 %

La cantidad de cemento que nos permite alcanzar una resistencia de 6 MPa a los 7 días, con lo que cumple con los requisitos de durabilidad, es de 5%

El criterio de durabilidad de la BAEC permite predecir que soportará los períodos de lluvia

El espesor propuesto para soportar las solicitudes de tráfico es de 20 cm

Luego de realizado el ensayo próctor modificado para HCR se determino que el porcentaje de humedad óptimo es 8 %

Luego de los cálculos y comprobaciones realizadas se puede determinar que la dosificación experimentada es la que nos permite superar los 4.5 MPa de resistencia a la flexión

Con las pruebas de flexión realizadas a las vigas a diferentes edades se demuestra que un pavimento realizado con HCR puede ser abierto al tráfico en un tiempo menor que un hormigón convencional.

El espesor propuesto de HCR para soportar las solicitudes de tráfico es de 16 cm

La compactación juega un rol importante en la intención de alcanzar máximas resistencias, una compactación deficiente podría perjudicar al tiempo de vida útil del pavimento.

Desde el punto de vista constructivo se podría escarificar la actual capa de agregados unos 25 cm, con lo que la capa de 15 cm restantes sería la subrasante.

Tanto para la BAEC y HCR se deberá disponer de la cantidad necesaria de volquetas para su colocación con el fin de evitar retrasos y los inconvenientes que esto podría traer.

Antes de iniciar y luego de terminar la jornada de trabajo se deberá revisar los equipos para evitar inconvenientes durante el trabajo.

Disponibilidad de arena cercana a la obra para colocarla sobre la capa de emulsión asfáltica que servirá para el curado de la capa de HCR

Evitar la circulación de vehículos y de personas durante la colocación de la BAEC o del HCR y del corte de juntas (HCR)

8. Agradecimiento

A Dios, mis padres y a mi Director de tesis, Ing. Hugo Egüez Álava, por guiar este trabajo investigativo hasta su culminación. A mis compañeros del Centro Técnico del Hormigón (CTH-HOLCIM) por su invalorable colaboración.

9. Referencias

[1]CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, Hormigón Compactado con Pavimentadora (HCP), Serie Monografías n. 013.
[2]CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, Bases Estabilizadas, Serie Monografías n. 016.
[3]Ing. Verónica Aguirrre, Susceptibilidad Al Deslizamiento De Los Suelos Y Rocas De La Provincia De Manabi.
[4]Ing. Cristian Velasco, Propiedades Mecánicas De Un Diseño De Hormigón Compactado Con Pavimentadora Y Fast Track Trabajando En Conjunto

- ASTM C 595 – 08 Standard Specification for Blended Hydraulic Cements.
- ASTM C 33 – 03 Standard Specification for Concrete Aggregates.
- ASTM C 136 – 06 Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.
- ASTM D 4318- 05 Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils.
- ASTM C 494 / C 494M – 01 Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.
- ASTM C 39 – 01 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C617 - 98(2003) Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C 1231/C 1231M REV A Standard Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders.
- ASTM C496 / C496M - 04e1 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- ASTM C78 - 08 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading).