Republica de Nicaragua

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

MAESTRIA EN INGENIERIA DE TRANSPORTE

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

POSIBILIDADES DE USO DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR) PARA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS EN NICARAGUA

Tesina sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Postgrado en Ingeniería del Transporte para optar al grado de Master.

Autores: **Ing. Yalta América Guerrero Méndez**
Ing. Mario Alberto Palacios García

Tutor: **Dr. Ing. Armando Ugarte Solís**

Universidad Nacional de Ingeniería
Nicaragua
2003

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

POSIBILIDADES DE USO DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR) PARA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS EN NICARAGUA

Tesina sometida a la consideración de la Comisión del Programa de Estudios de Postgrado en Ingeniería del Transporte para optar al grado de Master.

Autores: **Ing. Yalta América Guerrero Méndez**
Ing. Mario Alberto Palacios García

Tutor: **Dr. Ing. Armando Ugarte Solís**

Universidad Nacional de Ingeniería
Nicaragua
2003

DEDICATORIA

Dedico la presente Tesina “Posibilidades de uso del Concreto Compactado con Rodillo (CCR) para Construcción de Pavimentos en Nicaragua”, a mis seres más queridos:

Mi linda y preciosa hija *Eva Yalena*, mi esposo *Pedro Miguel* y mi mamá doña *Irene*.

Deseo que esta obra sea de beneficio al progreso tecnológico de nuestro país.

La obtención de esta Tesina significó muchas horas de arduo trabajo y dedicación, tiempo muy valioso en mi formación profesional.

Yalta América Guerrero Méndez

DEDICATORIA

La presente Tesina es dedicada con mucho amor:

A Dios, Padre Omnipotente y Misericordioso

A mis padres, *Justiniano Palacios López* y *Ermila García Olivas*, por su cariño y comprensión

A mi esposa *María Adilia*, a mis hijas *Aleyda Ermila, María Luisa, Adriana Verónica, María Adilia* y *Ana Lucía*, y a mis nietos *Juan Javier* y *Jael Jamila,* por su cariño, comprensión y motivación.

A mis 13 hermanos y sobrinos, por su cariño y motivación.

Mario Alberto Palacios García

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera muy especial a las personas e instituciones que nos apoyaron y colaboraron para llevar a cabo la presente tesina:

Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI)

Dr. Ing. Armando Ugarte Solís - Tutor Académico

Ing. Gustavo Vásquez Romero - Asesor Técnico

Holcim de Nicaragua

Holcim de Costa Rica

Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto

Empresa Ingeniería de Materiales y Suelos

Ing. Luis Cortés Gaitán

Ing. Rafael García

Sr. Julio Mazcullana

Hoja de Aprobación

"Esta Tesina fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Postgrado en Ingeniería del Transporte de la Universidad Nacional de Ingeniería, como requisito parcial para optar al grado de Master".

_____ _____

_____ _____

_____

Indice Página

Dedicatoria iii
Agradecimientos v
Hoja de Aprobación vi
Indice vii
Resumen x
Summary xiii
Lista de Tablas xvi
Lista de Gráficos xviii
Lista de Ilustraciones xx

I. Introducción 1
I.1 Generalidades 1
I.2 Antecedentes 3
I.3 Objetivos de la investigación 5
I.4 Hipótesis 6

II. Metodología de la investigación 7

III. Concreto Compactado con Rodillo (CCR) 9
III.1 Concepto 9
III.2 Componentes 9
III.3 Propiedades 14
III.4 Aplicaciones 18
III.5 Limitaciones 18
III.6 Ventajas de la utilización 18
III.7 Diseño de pavimento 19
III.7.1 Diseño de la mezcla 19

III.7.2 Diseño de espesores 21

III.8 Juntas 23

III.9 Proceso constructivo 25
III.9.1 Producción de la mezcla 25
III.9.2 Transporte 27
III.9.3 Colocación 28
III.9.4 Compactación 29
III.9.5 Curado 32
III.9.6 Construcción de juntas 32

III.10 Control de calidad 34

III.11 Costos asociados a los pavimentos de CCR 37

IV. Aplicación práctica sobre el CCR 38
IV.1 Pruebas de laboratorio para el diseño de mezcla 38
IV.2 Uso del CCR en la construcción de pavimentos en Costa Rica 46
IV.3 Diseño de pavimentos alternativos 52
IV.3.1 Condiciones de suelo, climatológicas y de tráfico considerados 53
IV.3.2 Métodos de diseño utilizados 53
IV.3.3 Estructuras de pavimentos resultantes 54
IV.3.4 Costos de pavimentos alternativos resultantes 57

V. Conclusiones 65

VI. Recomendaciones 67

VII. Bibliografía 68

VIII. Anexos 71

Resumen

Aún queda mucho por hacer en materia de mejoramiento vial en Nicaragua. Solo el 11% de los 18,418 Km que constituyen su red vial inventariada, tiene algún tipo de pavimento asfáltico y un 15% tiene alguna cubierta de material granular. El Ministerio de Transporte e Infraestructura, como ente encargado del desarrollo, el mantenimiento y la administración de la red vial nacional, debe fortalecer la operatividad y la investigación en aquellas dependencias que de algún modo pueden determinar el tipo de intervenciones que se debe hacer en la red vial, de tal forma que se avance de manera sostenida en su mejoramiento. En la actualidad prácticamente son las empresas consultoras y las agencias financieras las que determinan estas acciones, en consulta con el Ministerio.

Con este trabajo se pretende hacer un aporte en la búsqueda de soluciones de pavimentos técnica y económicamente viables para el país, habiéndose investigado la naturaleza intrínseca, las propiedades, los procesos de diseño, producción y colocación y los costos del Concreto Compactado con Rodillo, haciendo una comparación de éste con los pavimentos de concreto asfáltico, de concreto hidráulico convencional y de adoquines, para determinar sus posibilidades de uso para la construcción de pavimentos en Nicaragua.

El Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es un concreto de consistencia seca y asentamiento bajo o nulo, compuesto de cemento con agregados finos y gruesos, y agua, que se coloca de forma continua y su consolidación se realiza mediante el proceso de compactación con vibrocompactadoras, a las que también se podrían agregar compactadoras con llantas neumáticas y

lisas, con el propósito de obtener superficies de rodamiento con menores rugosidades y mejorar la textura del pavimento.

Este concreto se diferencia principalmente del concreto hidráulico por su menor contenido de agua (por lo que se le llama seco), y la proporción entre agregado fino y grueso.

La construcción de pavimentos utilizando CCR permite que éste sea colocado sin formaletas, acabado o texturizado, aserrado o sellado de juntas, es por estos factores que los pavimentos de CCR son más fáciles de construir con altos volúmenes de producción, donde generalmente el CCR es más económico que un diseño equivalente de pavimento flexible.

Para mejorar y ampliar el conocimiento sobre el CCR se efectuaron visitas a proyectos finalizados y en ejecución en Costa Rica, en los cuales éste había sido utilizado, se hicieron pruebas de laboratorio de los materiales que lo componen y para el diseño de las mezclas. Para los materiales ensayados se encontró que la combinación óptima de agregados era 60% de agregado grueso y 40% de agregado fino, que la humedad óptima era del 6%, así también que la densidad de la mezcla se incrementa en la medida que se aumenta la participación porcentual del cemento. Se encontró que una mezcla, a la cual se le hizo un ensayo de Proctor modificado, y que contenía 5.66% de agua, 12.78% de cemento 48.94% de agregado grueso y 32.63% de agregado fino, registró una resistencia a la compresión a los 7 días de 1,999 lbs. / pulg^2 y a los 14 días de 2,370 lbs. / pulg^2, lo que se considera un valor de tendencia normal.

Se efectuaron cálculos de estructuras de pavimentos alternativos y sus costos para el concreto asfáltico, el concreto hidráulico convencional, el concreto compactado con rodillo y de adoquines, para tres tipos de

condiciones de suelo, CBR de 1%, 2.5% y 5%, y para cada caso dos condiciones de tráfico, 500,000 ESAL's y 2,000,000 ESAL's, acumulados durante la vida útil del proyecto, resultando que el CCR en todos los casos es de menor costo de construcción que el pavimento de concreto hidráulico y que el de adoquines. Para un camino de un kilómetro de longitud y 6 metros de ancho, que tiene un suelo con CBR de 1% y un tráfico de 500,000 de ESAL's, se obtuvieron los siguientes costos para cada una de las estructuras de pavimento siguientes: asfalto US$106,599.18; concreto hidráulico US$123,472.44; concreto compactado con rodillo US$106,126.44 y adoquín US$171,988.80

Tomando en consideración los resultados anteriores, y habiéndose determinado que el concreto compactado con rodillo tiene bajos costos de mantenimiento por ser una capa de rodadura de coeficiente estructural muy alto y no obstante que con éste se obtienen superficies con Indices de Regularidad más altos que en los otros tipos de pavimentos, se concluye que es posible utilizar el CCR para construir pavimentos en Nicaragua, ya que se dispone del equipo y los materiales necesarios, recomendándose que el MTI construya tramos experimentales.

Summary

It is still a lot to make as regards road improvement in Nicaragua. Alone 11% of the 18,418 Km that constitute its net road inventoried, has some type of asphaltic pavement and 15% it has some covered with granulate material. The Ministry of Transport and Infrastructure, as in charge entity of the development, the maintenance and the administration of the net national vial, it should strengthen the operability and the investigation in those dependencies that somehow can determine the type of interventions that should be made in the net vial, in such a way that you advances in a sustained way in their improvement. At the present time practically they are the consultant companies and the financial agencies those that determine these stocks, in consultation with the Ministry.

With this work it is sought to make a contribution in the search of solutions of pavements technique and economically viable for the country, there being you investigated the intrinsic nature, the estates, the design processes, production and placement and the costs of the Roller Compacted Concrete (RCC), making a comparison of this with the pavements of concrete asphaltic, of concrete hydraulic conventional and of paving stones, to determine their use possibilities for the construction of pavements in Nicaragua.

The Roller Compacted Concrete (RCC) it is a concrete of dry consistency and low or null establishment, made up of cement with fine and thick aggregates, and it dilutes that it is placed in a continuous way and their consolidation is carried out by means of the compaction process with rollers compactors, to those that compactors could also be added with pneumatic

and flat tires, with the purpose of to obtain rolling surfaces with smaller ruggedness and to improve the texture of the pavement.

This concrete differs mainly of the hydraulic concrete for its smallest content of water (for what is called I dry off), and the proportion among fine and thick aggregate.

The construction of pavements using RCC allows that this is placed without form works, finish or textured, sawed or sealing of meetings, is for these factors that the pavements of RCC are easier of building with high production volumes, where the RCC is generally more economic than an equivalent design of flexible pavement.

To improve and to enlarge the knowledge on the RCC visits they were made to concluded projects and in execution in Costa Rica, in which this had been used, tests of laboratory of the materials were made that compose it and for the design of the mixtures. For the rehearsed materials it was found that the good combination of aggregates was 60% of thick aggregate and 40% of fine aggregate that the good humidity was of 6%, likewise that the density of the mixture is increased in the measure that you increases the percentage participation of the cement. It was found that a mixture, to which was made a rehearsal of as amended Proctor, and that it contained 5.66% of water, 12.78% of cement 48.94% of thick aggregate and 32.63% of fine aggregate, it registered a resistance to the compression to the 7 days of 1,999 psi and to the 14 days of 2,370 psi, what is considered a value of normal tendency.

Calculations of structures of alternative pavements and their costs were made for the asphaltic concrete, the conventional hydraulic concrete, the roller compacted concrete and of paving stones, for three types of soil conditions, CBR of 1%, 2.5% and 5%, and for each case two traffic

conditions, 500,000 ESAL's and 2,000,000 ESAL's, accumulated during the useful life of the project, being that the RCC in all the cases is of smaller construction cost that the pavement of concrete hydraulic and that that of paving stones. For an on the way to a kilometer of longitude and 6 meters wide that it has a soil with CBR of 1% and a traffic of 500,000 of ESAL's, the following costs were obtained for each one of the following structures of pavement: I asphalt US$106,599.18; I sum up hydraulic US$123,472.44; I sum up roller compacted concrete US$106,126.44 and paving stone US$171,988.80

Taking in consideration the previous results, and there being you certain that the roller compacted concrete has low maintenance costs to be a layer of rolling of very high structural coefficient and in spite of being obtained with this surfaces with higher Indexes of Regularity that in the other types of pavements, you concludes that it is possible to use the RCC to build pavements in Nicaragua, since it has the team and the necessary materials, being recommended that the MTI builds experimental tracts.

Lista de Tablas Página

Tabla 1	Granulometría recomendada para mezclas de CCR	12
Tabla 2	Número de pasadas recomendadas del equipo de compactación	30
Tabla 3	Composición granulométrica de la grava retenida en la malla No. 4	39
Tabla 4	Composición granulométrica de la arena	39
Tabla 5	Propiedades de los materiales pétreos	42
Tabla 6	Pruebas de densidades de mezclas	42
Tabla 7	% de Humedad vs Densidad de mezcla húmeda	44
Tabla 8	Densidad de mezcla húmeda vs Contenido de cemento	45
Tabla 9	Contenido de Cemento vs Resistencia a la Compresión	46
Tabla 10	Espesores de capas resultantes CBR = 1%; 500,000 ESAL's	54
Tabla 11	Espesores de capas resultantes CBR = 2.5%; 500,000 ESAL's	55
Tabla 12	Espesores de capas resultantes CBR = 5%; 500,000 ESAL's	55

Tabla 13 Espesores de capas resultantes CBR = 1%; 2,000,000 ESAL's 56

Tabla 14 Espesores de capas resultantes CBR = 2.5%; 2,000,000 ESAL's 56

Tabla 15 Espesores de capas resultantes CBR = 5%; 2,000,000 ESAL's 57

Tabla 16 Comparación de IRI obtenidos en diferentes tipos de pavimentos 64

Lista de Gráficos Página

Gráfico 1	Curva Granulométrica	40
Gráfico 2	Densidad de mezcla húmeda vs Relación AF/AG	43
Gráfico 3	Densidad de mezcla húmeda vs % de humedad	44
Gráfico 4	Comparación de costos de pavimentos alternativos CBR = 1%; 500,000 ESAL's	58
Gráfico 5	Comparación de costos de pavimentos alternativos CBR = 2.5%; 500,000 ESAL's	59
Gráfico 6	Comparación de costos de pavimentos alternativos CBR = 5%; 500,000 ESAL's	59
Gráfico 7	Comparación de costos de pavimentos alternativos CBR = 1%; 2,000,000 ESAL's	60
Gráfico 8	Comparación de costos de pavimentos alternativos CBR = 2.5%; 2,000,000 ESAL's	61
Gráfico 9	Comparación de costos de pavimentos alternativos CBR = 5%; 2,000,000 ESAL's	61
Gráfico 10	Comparación de costos de pavimentos de CCR vs CBR (Tráfico de 500,000 ESAL's)	62

Gráfico 11 Comparación de costos de pavimentos de CCR vs CBR (Tráfico de 2,000,000 ESAL's) 62

Lista de Ilustraciones Página

Foto 1	Mezcladora montada en carreta	26
Foto 2	Pavimentadora ABG TITAN	29
Foto 3	Colocado del CCR	29
Foto 4	Compactado del CCR	31
Fotos 5 y 6	Aplicación de la membrana de curado	32
Foto 7	Aserrado de juntas	34
Foto 8	Detalle de juntas aserradas	34
Foto 9	Patio de maniobras de Industria Nacional de Cemento (Costa Rica)	48
Foto 10	Calle Potrerillos (Costa Rica)	50
Foto 11	Calle en Llano Grande de Cartago (Costa Rica)	51
Foto 12	Autopista Florencio del Castillo (Costa Rica)	52

I. INTRODUCCION

I.1 Generalidades

Nicaragua tiene una red de caminos de 18,418 km de longitud, de los cuales 2,018 km son caminos con superficie de rodamiento asfáltica, 163 km están adoquinados, 2,764 km son revestidos, 5,982 km son de todo tiempo y 7,491 km son transitables solamente en estación seca.

El Ministerio de Transporte e Infraestructura es el ente de gobierno encargado del desarrollo y mantenimiento de la red vial nacional, función que ejerce fundamentalmente a través de la División General de Planificación y la Dirección General de Vialidad.

La División General de Planificación se encarga de la elaboración de los Planes y Programas de Inversión, de los Estudios y Diseños y de la gestión de financiamiento de los proyectos. La Dirección General de Vialidad es la responsable de la ejecución de los proyectos, sean estos de construcción, rehabilitación, mejoramiento o mantenimiento.

La División General de Planificación lleva a cabo los Estudios y Diseños a través de la contratación de Consultores externos, quienes en última instancia recomiendan los tipos de soluciones a implementar en los proyectos de carretera, e igualmente los organismos concesionarios de las donaciones y préstamos dirigidos al mejoramiento de la red vial, casi siempre establecen condicionantes para definir el tipo de pavimentos que se deben implementar, de tal manera que el Ministerio no tiene como norma el preestablecimiento de las soluciones de pavimentos de los proyectos que ejecuta.

Los pavimentos utilizados en el mejoramiento de caminos hasta 1990 fueron fundamentalmente los tratamientos superficiales y sellos asfálticos, y los revestimientos con piedra triturada, material selecto y macadam. A partir de mediados de los años 90 se comienza a utilizar las mezclas en frío y concretos asfálticos. Desde finales de los años 90, con apoyo del Banco Mundial, se están impulsando Programas de Adoquinamiento de Caminos Vecinales.

Es notoria la ausencia de pavimentos de concreto hidráulico y de emulsiones asfálticas, los cuales están siendo utilizados profusamente en otros países.

La red vial nacional es extensa y aún quedan muchos kilómetros de caminos por mejorar y se ha considerado importante la búsqueda de opciones de mejoramiento de caminos que sean técnica y económicamente viables. La necesidad de mejorar los caminos y carreteras con la implementación de tecnologías acordes a nuestros recursos y disponibilidad financiera, nos obliga a estudiar técnicas constructivas que permitan un mayor uso de los materiales y equipos existentes en el país, lo cual permitiría disminuir las importaciones y el uso de divisas.

La Dirección de Administración Vial de la Dirección General de Vialidad cuenta con un Sistema de Administración de Pavimentos, el que en la actualidad está en proceso de consolidación pero no cuenta con los recursos suficientes para llevar a cabo investigaciones sobre el comportamiento o desempeño de los diferentes tipos de pavimentos, lo que sería muy oportuno para que la División General de Planificación pudiera definir con más propiedad el tipo de pavimento conveniente para cada caso.

Siempre ha sido de mucho interés al momento de proyectar la estructura de un pavimento conocer cuánto va a durar en condiciones de transitabilidad

aceptable; se le da mucha importancia tanto a sus características estructurales como a sus características funcionales. Uno de los requisitos principales que debe cumplir un pavimento es proporcionar una superficie de rodamiento que permita transitar de una manera cómoda, segura, rápida y con bajos costos de operación.

Una de las opciones para la pavimentación de caminos podría ser el uso del Concreto Compactado con Rodillo (CCR), el cual se ha estado utilizando en países de Europa y Sudamérica principalmente. Recientemente se inició el uso del CCR en la construcción de pavimentos en Centroamérica, en El Salvador y Costa Rica.

I.2 Antecedentes

La idea de compactar concreto con rodillo surgió lentamente al ir acumulando experiencias con la construcción de bases tratadas con cemento, tales como el suelo - cemento y las bases de concreto pobre, por lo que no es posible determinar el momento exacto en el cual apareció este material.

El CCR es utilizado en la construcción de pavimentos desde el siglo XIX, no obstante que después de un largo período de poco desarrollo, se implementó con mayor fuerza en la época moderna en España, alrededor de 1970 cuando se utilizó para la pavimentación de vías de tránsito liviano en urbanizaciones, calles y carreteras secundarias.

En 1980 Chile, Venezuela, Uruguay, México, Colombia, Ecuador, Islandia, Eslovenia, Nueva Zelandia y Sudáfrica construyeron pavimentos de concreto compactado con rodillo en menor escala o en tramos experimentales.

Al año 1987 se estimaba que existían aproximadamente 10 millones de metros cuadrados de pavimentos de CCR, de los cuales más de 4 millones estaban en Cataluña, España.

El CCR es ampliamente utilizado en países como Estados Unidos, Sudáfrica, Australia, Japón, Brasil, España y China, principalmente en la construcción de pavimentos, pistas de aeropuertos, presas, ataguías, protección de taludes y de las márgenes de canales, construcción de fundaciones masivas, etc.

En Costa Rica se ha usado el Concreto Compactado con Rodillo en la construcción de presas de gravedad y recientemente en la construcción de pavimentos.

El CCR es una tecnología que consiste en construir un pavimento de concreto de una manera diferente. Es un concreto muy seco, sin revenimiento; no requiere formaletas; no requiere dovelas o refuerzo; no requiere ninguna técnica de acabado o texturizado y se densifica con energía de compactación vibratoria. Se utiliza en vías principales, vías secundarias, aeropuertos, puertos, áreas de estacionamiento y patios de maniobras.

En este trabajo se describe el proceso de diseño de la mezcla y de los espesores de pavimento, el transporte, colocación, compactación y curado del CCR, básicamente a partir de un análisis científico y no sobre la práctica en el uso de esta tecnología en el país o de un proyecto experimental.

Hasta la fecha no se conoce ninguna utilización de CCR en Nicaragua.

I.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

I.3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar las posibilidades de uso del Concreto Compactado con Rodillo (CCR), para el mejoramiento de caminos en Nicaragua, tanto desde el punto de vista tecnológico, como de la conveniencia económica.

I.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

1. Conocer la naturaleza intrínseca del CCR

2. Describir el proceso de diseño de pavimentos utilizando CCR

3. Describir el proceso de construcción de pavimentos con CCR

4. Investigar la disponibilidad de tecnología en Nicaragua para la aplicación del CCR.

5. Establecer un diseño de mezclas de CCR con materiales de Nicaragua.

6. Establecer las pruebas de laboratorio para el Control de Calidad del CCR.

7. Comparar las ventajas y desventajas del CCR con otros tipos de pavimentos, desde el punto de vista de su vida útil y costos

8. Concluir y recomendar sobre las posibilidades de uso del CCR en Nicaragua

I.4 HIPOTESIS

La utilización del Concreto Compactado con Rodillo (CCR), es factible en Nicaragua por su tecnología de producción y colocación al alcance nacional, y por su costo competitivo, ya que éste ha demostrado ser un pavimento de alta eficiencia en caminos de bajo volumen de tráfico por tener gran durabilidad y bajo costo de construcción y mantenimiento.

II. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

Se recopiló y analizó información bibliográfica sobre las tipologías más comunes de pavimentos, con énfasis especial en el pavimento de CCR, lo que incluye los materiales y sus características, diseño de espesores, diseño de mezclas y los procesos de producción y colocación.

Debido a que la mayor parte de los caminos que aun quedan por construir en Nicaragua se localizan sobre suelos con valores portantes bajos y con tráficos relativamente bajos, para efecto de llevar a cabo la comparación de costos entre pavimentos alternativos se seleccionaron tres tipos de suelos con CBR (Valor Soporte de California) de 1%, 2.5% y de 5% y dos niveles de tráfico, igual a 500,000 ESAL´s y 2 millones de ESAL´s, acumulados en el período de diseño o sea la vida útil estimada del pavimento. Se hicieron diseños de estructuras de pavimentos asfálticos, de adoquines, de concreto hidráulico y de CCR, utilizando los métodos recomendados por la AASHTO habiendo efectuado para todos ellos estimaciones de costos de construcción. Para la determinación de estos costos, en el caso de los pavimentos asfálticos y de adoquines se utilizó como fuente principal de información los costos unitarios de proyectos ejecutados o diseñados en fechas recientes para el Ministerio de Transporte e Infraestructura y para los pavimentos de concreto hidráulico convencional y de concreto compactado con rodillo se hicieron estimaciones propias del costo de un m^3 de carpeta de rodamiento colocada en el sitio, previo diseño de las mezclas respectivas.

A través de información disponible en el MTI, de los datos de precalificación de las empresas constructoras y de la documentación variada que éstas presentan para y durante la ejecución de proyectos de caminos, se investigó y verificó la existencia de equipos utilizables en la construcción de pavimentos con CCR.

Se visitó la sede del Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto para conocer datos, experiencias, estudios comparativos, etc. de la implementación del CCR en Costa Rica, y en este viaje también se llevaron a cabo visitas a proyectos construidos y en construcción.

Se realizaron pruebas de laboratorio en las instalaciones del Recinto Universitario “Pedro Aráuz Palacios” y en los laboratorios de Ingeniería de Materiales y Suelos, para verificar el proceso de diseño de las mezclas de CCR y obtener datos sobre la resistencia a la compresión de testigos a los 7 y 14 días, elaborados con diferentes proporciones de agregados finos, agregados gruesos, cemento y agua, para efecto de comparación con resultados de ejemplos de la literatura técnica consultada.

La resistencia del CCR a utilizar en la construcción de pavimentos será su resistencia a la flexotracción (Módulo de Ruptura), la cual se mide en especímenes moldeados durante el colado del concreto, correspondiente a vigas estándares de sección cuadrada, compactadas, curadas y ensayadas según las normas ASTM C-78 y ASTM C-31/31M, de 508 mm de largo por 152 mm de lado, elaboradas y curadas siguiendo procesos normalizados. En el ensayo se utilizaron especímenes para la medición de la resistencia a la compresión, fundamentalmente porque no se contó con el equipo adecuado para hacer las mediciones de flexotracción recomendadas. Existen muchos estudios que relacionan la resistencia a la flexotracción con la resistencia a la compresión.

III. CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR)

III.1 Concepto

El Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es un concreto de consistencia seca y asentamiento bajo o nulo, compuesto de cemento con agregados finos y gruesos, y agua, que se coloca de forma continua y su consolidación se realiza mediante el proceso de compactación con vibrocompactadoras, a las que también se podrían agregar compactadoras con llantas neumáticas y lisas, con el propósito de obtener superficies de rodamiento con menores rugosidades y mejorar la textura del pavimento. Esta consolidación se efectúa utilizando alta energía de compactación, lo que a su vez le permite alcanzar altas resistencias.

Este concreto se diferencia principalmente del concreto hidráulico convencional por su menor contenido de agua (por lo que se le llama seco), y la proporción entre agregado fino y grueso.

La construcción de pavimentos utilizando CCR permite que éste sea colocado sin formaletas, no requiere acabado o texturizado, ni dovelas o refuerzos, es por estos factores que los pavimentos de CCR son más fáciles de construir con altos volúmenes de producción, donde generalmente el CCR puede resultar más económico que un diseño equivalente de pavimento flexible.

III.2 Componentes

Agregados, Cemento, Agua y Aditivos.

Agregados

Los agregados generalmente constituyen del 75 al 85% del volumen de CCR. Las características de los agregados afectan las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto, en estado fresco la trabajabilidad, su potencial de segregación y su capacidad de compactación y en estado endurecido el módulo de elasticidad y durabilidad.

El tamaño máximo de agregado deseado oscila entre 40 y 20 mm, prefiriéndose tamaños máximos menores, cercanos a los 20 mm, con el fin de minimizar la segregación de la mezcla en estado fresco, durante el transporte y la colocación, y de obtener adecuadas texturas de pavimento. Los agregados pétreos podrán emplearse en una sola fracción: de 19 mm a 0 mm, o en dos fracciones: gruesa de 19 mm a No.4, y fina de No. 4 a 0 mm. Los materiales que constituyen los agregados, tanto la fracción gruesa como fina, deberán ser resistentes, duros, durables, limpios y libres de materia vegetal y de exceso de partículas planas o alargadas, así como de arcilla u otro material inconveniente.

El agregado grueso podrá estar constituido por roca triturada, grava triturada o por una mezcla de ambos materiales. En las Especificaciones Generales de Construcción de Costa Rica 2002, se establece que los materiales deberán cumplir con los siguientes requisitos:

Pérdida por abrasión, AASHTO T-96	35, máximo
Indice de durabilidad,AASHTO T—210	35, mínimo
Partículas con una o más caras fracturadas como producto de la trituración (retenido Malla No.4) FLH T-507	50%, mínimo
Terrones de arcilla y partículas friables AASHTO T-112	3%, mínimo
Sanidad utilizando sulfato de sodio (5 ciclos),AASHTO T-104	15%, máximo

El agregado fino deberá estar constituido por arena manufacturada por trituración, arena natural, o por mezcla de ambos materiales y deberá cumplir los siguientes requisitos:

Indice de durabilidad, AASHTO T-210	35, mínimo
Equivalente de arena, AASHTO T-176, método de arbitraje	75, mínimo
Libre de materia orgánica o impurezas, según ensayo AASHTO T-21	
Terrones de arcilla y partículas friables AASHTO T-112	3%, mínimo
Sanidad utilizando sulfato de sodio (5 ciclos),AASHTO T-104	15%, máximo

En cuanto a la procedencia de los agregados se prefieren los obtenidos por trituración, debido a su menor tendencia a segregarse, aun cuando son más difíciles de compactar. Se recomienda que al menos las dos terceras partes del volumen de agregados sea triturado mecánicamente, para lograr una capacidad de soporte alta. Esta capacidad portante se puede evaluar sometiendo probetas, cuya densidad sea como mínimo el 97% del ensayo proctor, al ensayo del CBR sin sobrecarga y el resultado debe ser superior al 65%.

La granulometria de los agregados debe ser continua, estable, densa y tal que unida al cemento presente una cantidad de finos suficiente para lograr una buena compactación. Las granulometrias recomendadas en el Pliego de Prescripciones Técnicas Españolas, el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos y las Especificaciones Generales de Construcción de Costa Rica 2002, se indican en la Tabla No. 1.

Tabla No. 1

GRANULOMETRIA RECOMENDADA PARA MEZCLAS DE CCR

PRESCRIPCION ESPAÑOLA			CUERPO DE INGENIEROS USA		ESPECIFICACION COSTA RICA 2002	
TAMIZ	% PASA máximo	% PASA mínimo	TAMIZ	% PASA	% PASA	TAMIZ
25 mm		100	25.4 mm	100	25.4 mm	100
20 mm	100	85 – 100	19.1 mm	83 – 100	19.1 mm	84 – 100
16 mm	88 – 100	75 – 100	12.7 mm	72 – 93	12.7 mm	73 – 91
10 mm	70 – 87	60 – 83	9.5 mm	66 – 85	9.5 mm	62 – 81
5 mm	50 – 70	42 – 63	4.76 mm	51 – 69	4.75 mm (# 4)	51 – 69
2 mm	35 – 50	30 – 47	2.38 mm	38 – 56	2.36 mm (# 8)	39 – 58
0.4 mm	18 – 30	16 – 27	1.19 mm	28 – 46	1.18 mm (# 16)	29 – 48
0.08 mm	10 – 20	9 – 19	0.595 mm	18 – 36	600 um (#30)	20 – 38
			0.297 mm	11 – 27	300 um (#50)	12 – 29
			0.149 mm	8 – 20	150 um (#100)	7 – 20
			0.074 mm	2 – 8	75 um (#200)	2 – 10*

*Nota: Cuando se trate de arena manufacturada por trituración, se podrá admitir hasta un 15% pasando el tamiz No. 200.

En las Especificaciones Generales de Construcción de Guatemala se recomienda una granulometria igual a las españolas.

Cemento

El cemento que se utilice en la mezcla deberá tener preferentemente mínima retracción, bajo calor de hidratación y elevada resistencia a largo plazo, que contrarresten el fenómeno de fatiga. Puede utilizarse cementos Portland

Tipo I y II bajo la norma ASTM C 150, cementos puzolánicos (ASTM C 595 ó ASTM C 198). En Nicaragua se producen tres tipos de cemento, con calidades diferentes, según el estudio monográfico aprobado por la UNI, "Estudio de la Resistencia del Concreto con Cemento Portland Tipo I de diferentes marcas elaboradas en Nicaragua", en el que se concluye que los cementos Canal y Supernic tienen Gravedades Específicas similares pero tiempos de fraguado muy diferenciados tales que el cemento Canal tiene un tiempo de fraguado inicial de 146 minutos y un tiempo final de 285 minutos y Supernic tiene un tiempo de fraguado inicial de 85 minutos y un tiempo final de 210 minutos. El cemento Nicacem tiene una Gravedad Específica muy inferior a la de las otras dos marcas 2.09 vs 3.10 y un tiempo de fraguado inicial y final intermedio de los dos valores anteriores.

Agua

El agua que se utiliza para la fabricación del concreto compactado con rodillo no debe contener materia orgánica, sólidos en suspensión, ni aparecer contaminada por desechos industriales. En general, se considera adecuada el agua potable apta para consumo humano, y deberá cumplir con lo especificado en AASHTO T-26.

Aditivos

El uso de aditivos está orientado hacia los retardadores de fraguado para prolongar y garantizar que se dispondrá de tiempo suficiente para lograr la compactación exigida. Su empleo deberá definirse por medio de ensayos efectuados antes de su aplicación en la obra, y mediante el certificado de calidad del fabricante con las dosificaciones que garanticen el efecto deseado.

En países con problemas de heladas se han utilizado aditivos inclusores de aire para proporcionar un mejor desempeño a las heladas; las dosis utilizadas son de 5 a 10 veces mayores que en concretos convencionales, sin embargo los resultados no han sido satisfactorios. La utilización de apropiados métodos de compactación con bajos contenidos de aire incrementa la resistencia y disminuye la permeabilidad creando concretos más resistentes a las heladas.

Aditivos reductores de agua, la capacidad de reducción del agua de una mezcla de CCR está en función del tipo y cantidad de agregado fino (material pasando la malla No. 200).

Aditivos retardadores de fraguado, en este caso pueden ser beneficiosos en retrasos para proporcionar una adecuada adhesión entre capas paralelas o sucesivas. Proporcionan mayor tiempo de trabajabilidad.

Las fibras no han demostrado tener beneficios en la mezcla, por el contrario se ha reportado un incremento en la dificultad de compactación.

III.3 PROPIEDADES

Las propiedades más significativas en el concreto compactado con rodillo son las mismas que para el concreto convencional.

El CCR tiene propiedades características tanto para su estado fresco como endurecido. Con su estado fresco se relacionan la consistencia, la trabajabilidad y la densidad - contenido de humedad; con su estado endurecido se relacionan la resistencia a la compresión, que se le reconoce como la característica más representativa del concreto, otras también muy importantes son el Módulo de Elasticidad, la resistencia a tracción y al corte,

los cambios de volumen, la permeabilidad, la durabilidad, etc.. Aplicado en la pavimentación, existen dos propiedades que son preponderantes, la resistencia a los esfuerzos por flexión y la resistencia a la fatiga, debido a su incidencia en el espesor del pavimento.

Resistencia a la compresión

Se obtiene mediante la prueba ASTM C 1176. La resistencia a la compresión (f´c) generalmente se determina sometiendo a la acción de una prensa hidráulica, una cantidad de cilindros normalizada, hasta su ruptura. El esfuerzo de la prensa hidráulica se mide en libras y el área de los cilindros en pulgadas cuadradas.

Las resistencias a la compresión obtenidas en pavimentos de CCR son similares a aquellas obtenidas en pavimentos de concreto hidráulico, en los que se han usado los mismos contenidos de material cementante.

Sin embargo, experiencias internacionales demuestran que el CCR, a igualdad de contenido de materiales cementantes, alcanza resistencias a la compresión mayores, por su baja relación agua/cemento y su elevada compactación.

La resistencia a compresión está influenciada por la densidad y esta a su vez por la compactación, por lo que es muy importante tener una adecuada compactación en campo. Esta propiedad también depende del contenido de cemento utilizado.

Módulo de Rotura

La resistencia a flexión del concreto se mide a través del esfuerzo de flexión máximo, denominado Módulo de Rotura. De igual manera que en el caso del concreto convencional, en el concreto compactado con rodillo existe una buena correlación entre la Resistencia a la Tracción Indirecta y el Módulo de Rotura. Para unas condiciones y materiales fijados anticipadamente existe una excelente correlación entre el Módulo de Rotura y la Resistencia a la Compresión. Una evaluación aproximada de la resistencia a la flexión (Módulo de Rotura) se puede obtener por la relativa correlación con los valores de la resistencia a la compresión, asumiendo comportamientos similares al de hormigón convencional, mediante el empleo de las fórmulas siguientes recomendadas por el Comité Europeo del Concreto:

$MR= 0.78 (f'c)^{1/2}$, f'c en Mpa
$MR= 2.5 (f'c)^{1/2}$, f'c en Kgf/cm^2

Es recomendable que estas fórmulas sean corroboradas o definidas a partir de ensayos de los materiales locales.

Resistencia a la Fatiga

El concreto compactado con rodillo presenta un comportamiento a la falla por fatiga similar al que presenta el concreto convencional. La falla es función de la relación de los esfuerzos aplicados.

Propiedades Elásticas

Los principales factores que afectan las propiedades elásticas del concreto son la edad, las características del agregado, la relación agua/cemento y la calidad de la pasta.

Un concreto compactado con rodillo, producido y colocado adecuadamente debe tener el mismo, o un poco más elevado Módulo de Elasticidad que el de un concreto convencional producido con el mismo agregado.

El Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos ha asumido en sus estudios que el Módulo de Elasticidad del concreto compactado con rodillo es de 280,000 kgf/cm2 y el Módulo de Poisson de 0.15

Retracción

La retracción en el concreto compactado con rodillo es inferior a la que se presenta en el concreto convencional debido al menor contenido de agua y a un mayor acomodo de los agregados que restringe el movimiento de retracción.

Para una resistencia dada, un concreto de baja trabajabilidad contiene más agregado que una mezcla de alta trabajabilidad para un tamaño máximo dado y por lo tanto menos retracción. El concreto compactado con rodillo está asociado con una baja trabajabilidad.

La retracción es menor cuando disminuye la relación agua/cemento y cuando se aumenta la proporción de agregados en la mezcla.

III.4 Aplicaciones

El CCR es un tipo de concreto que se ha utilizado desde hace muchos años en la construcción de represas, patios de maniobras, pistas de aeropuertos, fundaciones masivas y pavimentos en carreteras.

III.5 Limitaciones

Las rugosidades y texturas obtenidas en los pavimentos de CCR son altas y se considera que básicamente estas características limitan su aplicabilidad en carreteras de alta velocidad.

Uno de los inconvenientes de los concretos compactados con rodillo es su sensibilidad frente a las variaciones de humedad y a la compactación obtenida, es por ello que un exceso o defecto de agua, así como una densidad insuficiente, disminuye notablemente las resistencias mecánicas, por lo que no se debe efectuar su construcción en períodos lluviosos, en épocas muy frías o muy calurosas, a menos que se tomen las precauciones debidas. Por otra parte, la falta de humedad suele llevar consigo riesgos de segregación y de aparición de zonas con defecto de fraguado, mientras que un exceso de agua se traduce en una regularidad superficial defectuosa.

III.6 Ventajas de la utilización

Bajo costo de construcción
Fácil preparación
Alto volumen de producción
Bajo requerimiento de mano de obra
Alta resistencia y durabilidad
Alto desempeño

III.7 Diseño de pavimento

El diseño de un pavimento de CCR tiene dos fases, el diseño de la mezcla y el diseño de los espesores.

Las propiedades mecánicas del CCR son muy semejantes a las del concreto hidráulico. Esta similitud permite adoptar, para efecto de diseño de pavimento, procedimientos similares a los usados hasta el momento para el concreto hidráulico.

III.7.1 Diseño de la Mezcla

Las mezclas de concreto compactado con rodillo pueden ser proporcionadas empleando cualquiera de los siguientes métodos:

1. Utilizando pruebas de la consistencia del concreto (VeBe modificado, ACI-211.3).

Se basa en encontrar el punto de máxima trabajabilidad, para lo cual se utiliza el aparato de VeBe con la metodología del ensayo ACI 211.3, que consiste en ir variando los contenidos de agua, cemento o agregado hasta obtener el grado de consistencia deseado.

La secuencia recomendada para el empleo de este método es la siguiente:

1. Elegir agregados gruesos y finos que cumplan normas ASTM C 33 y determinar la combinación que se enmarque en los límites que sugiere el Código ACI 325.10R u otro similar.

2. Escoger un contenido de cemento entre 250 y 350 kg/cm3

3. Mezclar los materiales en seco por lo menos un minuto

4. Agregar el agua de mezclado (5 – 7%) y mezclar por tres minutos adicionales

5. Determinar la consistencia según la norma ASTM C1170 (tiempo VeBe en segundos)

6. Determinar la densidad del CCR según norma descrita en el numeral 5

7. Los numerales 5 y 6 pueden ser reemplazados por la metodología de compactación Próctor según ASTM D 1557 a fin de obtener los contenidos óptimos de agua y densidad en el concreto

A continuación se mantienen todos los parámetros fijos y se varía solamente la humedad

El objetivo es alcanzar la máxima densidad seca en una consistencia VeBe entre 30 y 40 segundos, lograda en la humedad óptima.

Para cada prueba, se tomarán muestras de CCR en cilindros de 150 x 300 ó 100 x 200 mm compactados con el martillo kango, en tres capas durante 40 segundos cada capa.

2. Utilizando el Método de Humedad – Densidad

El diseño de la mezcla se inicia compactando con una energía constante, normalmente igual a la del ensayo Proctor Modificado, diferentes relaciones entre los volúmenes de agregado fino y grueso y al graficar los resultados del ensayo, se obtiene una curva que permite determinar la relación de

agregados que se va a emplear durante la mezcla, la cual es aquella para la que se obtiene la máxima densidad. Los porcentajes en peso de agua y cemento deben mantenerse fijos durante esta fase, recomendándose utilizar entre 12 y 15% de cemento y entre 4 y 6% de agua, tomando en consideración el grado de absorción de los agregados.

Una vez seleccionado la proporción de agregados a utilizar en la mezcla, el contenido de agua se encuentra realizando ensayos de humedad contra densidad, con una energía de compactación similar a la que se tendrá en el campo, variando el contenido de humedad hasta hallar la que permite obtener la máxima densidad posible, manteniendo la misma cantidad de cemento.

Una vez encontrada la humedad de densidad máxima, se elaboran probetas cilíndricas con concretos producidos con los contenidos de agregados y agua determinados en los pasos anteriores y con diferentes contenido de cemento, para fallarlas a tracción indirecta o a compresión y así definir el contenido de cemento para el cual se alcanza los requisitos de resistencia deseados.

III.7.2 Diseño de Espesores:

Existen diferentes métodos y aproximaciones para el diseño de pavimentos de concreto. Dos de los métodos más comunes son el de Portland Cement Association (PCA) y los de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

El método de la PCA se basa en determinar que el pavimento ha cumplido su vida útil cuando se da la ruptura del concreto por fatiga a causa de la repetición por cargas y en el caso de la AASHTO el cumplimiento de la vida

útil del pavimento esta asociado a una calificación, más o menos subjetiva, de las características de éste, que en el método se conoce como Indice de servicio final.

Con el propósito de facilitar las comparaciones entre los diferentes tipos de pavimentos a analizar en el marco de esta Tesis se utiliza el método de la AASHTO-93.

El procedimiento incluido en la Guía AASHTO determina el espesor D de un pavimento de concreto hidráulico para que este pueda soportar el paso de un número W82 de ejes equivalentes de 82 KN sin que se produzca una disminución en el Indice de servicio – PSI – superior a un cierto valor, el cual se calcula a partir de una serie de medidas en el pavimento (regularidad superficial, agrietamiento, baches), y que se ha comprobado que tiene una buena correlación con la calificación subjetiva que dan al mismo los usuarios.

En el método AASHTO el espesor de pavimento de concreto hidráulico se determina con base a la ecuación siguiente

$$Log_{10}W_{82} = Z_r S_o + 7.35 Log_{10}(D+25.4) - 10.39 + \frac{Log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{(4.5-1.5)}\right)}{1+\frac{1.25x10^{19}}{(D+25.4)^{8.46}}} + (4.22-0.32P_t)xLog\left(\frac{M_r C_{dx}(0.09D^{0.75}-1.132)}{1.51xJ\left(0.09D^{0.75}-\frac{7.38}{(E_c/k)^{0.25}}\right)}\right)$$

En donde:

W_{82}: Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 ton (18,000 libras ó 82 KN), a lo largo del periodo de diseño.

Z_r: Desviación normal estándar

S_o: Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento.

D: Espesor del pavimento de concreto (en mm)

ΔPSI: Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

P_t: Indice de servicio final

Mr: Resistencia media del concreto (en Mpa) a flexotracción a los 28 días (método de carga en los tercios de la luz)

C_d: Coeficiente de drenaje

J: Coeficiente de transmisión de cargas en las juntas

E_c: Módulo de elasticidad del concreto, en MPa

K: Modulo de reacción, dado en MPa/m de la superficie (base, subbase o subrasante) en la que se apoya el pavimento de concreto.

III.8 Juntas

El pavimento de concreto compactado con rodillo tiene las mismas juntas que los de concreto convencional, pero el tratamiento de éstas es diferente, dada la menor retracción del concreto compactado lo que permite una mayor longitud de las losas.

Las juntas de los pavimentos de concreto se pueden clasificar, según su posición geométrica con relación al eje de la vía, en dos grandes clases: las transversales y las longitudinales.

Juntas transversales

Las juntas transversales se construyen generalmente en dirección ortogonal al eje del trazo del pavimento y se clasifican en: de contracción, de construcción y de expansión.

1) Las juntas de contracción tienen por objeto controlar la fisuración aleatoria como resultado de la contracción.

2) Las juntas de construcción se generan cuando se suspende la colocación del concreto, ya sea por interrupción del equipo o finalización de la jornada laboral.

3) Las juntas de expansión se construyen en los sitios donde es posible que el movimiento del pavimento pueda generar daños a las estructuras adyacentes o al pavimento en sí mismo.

Juntas longitudinales

Son las juntas que dividen los carriles y pueden ser de contracción y de construcción.

1. Las juntas de contracción dividen los carriles del tráfico y controlan el agrietamiento cuando se construyen simultáneamente dos o más carriles y siempre que se tengan franjas de más de 4.5 m de ancho.

2. Las juntas de construcción se hacen por las diferentes pasadas del tren de pavimentación, y en ellas se incluye las generadas para las líneas de servicio y las bermas.

Las juntas longitudinales no son necesarias cuando la pavimentación se efectúe en todo el ancho de la calzada (en vías con un ancho inferior a los 10 m).

III.9 Proceso constructivo

El proceso constructivo del CCR se inicia con la producción de la mezcla, luego ésta debe ser transportada hasta el sitio de la obra, colocada, compactada, curada y dotada de las juntas, todo de acuerdo a un diseño y a un sistema constructivo preestablecido, bajo un estricto control de calidad.

III.9.1 Producción de la mezcla

Una vez determinadas las diferentes proporciones de los componentes de la mezcla, se procede a la producción de la misma mediante el uso de los equipos disponibles más adecuados a las condiciones del proyecto.

El equipo generalmente utilizado para la producción de la mezcla es una dosificadora y una mezcladora.

Foto No.1
Mezcladora montada en carreta

El concreto compactado con rodillo puede producirse utilizando plantas centrales de dosificación y mezclado, plantas de dosificación y mezcladoras portátiles, plantas centrales continuas o discontinuas para mezclas asfálticas en conjunto con mezcladoras portátiles de concreto. Estas plantas deberán estar equipadas con aditamentos alimentadores y medidores, por peso o volumen que garanticen las proporciones correctas de los componentes de la mezcla.

El equipo de mezclado más utilizado es el siguiente:

1. Continuas: destinadas para concreto pobre o muy seco, que se caracterizan por tener ejes horizontales que rotan dentro de un tambor fijo y tienen adheridos a ellos unas aspas o paletas que agitan la mezcla. Estas plantas se consideran portátiles debido a que todos sus componentes pueden ser montados y transportados en una sola unidad de remolque y ensamblarse para su traslado en menos de cuatro horas.

2. Estacionarias convencionales: son utilizadas cuando se encuentran cerca del sitio de la obra y que se garantice un buen sistema de control de calidad. Estas plantas son utilizadas en un 75% de su capacidad nominal de diseño, debido a que el concreto compactado con rodillo es un material extremadamente seco y de baja densidad cuando no está compactado, para lograr una mayor homogeneidad de la mezcla. Los tiempos de mezclado y de descarga son más largos.

3. Tambores y camiones mezcladores: el uso de tambores mezcladores en la planta o en los camiones transportadores es aconsejable cuando se dispone de agregados relativamente limpios, al igual que de una mezcla con un contenido mínimo de finos. Esto se debe a que los finos tienden a aglutinarse, formando grumos difíciles de mezclar completamente, debido a la poca cantidad de agua presente en la mezcla.

III.9.2 Transporte

La selección del equipo de transporte se debe hacer de tal manera que se garantice un suministro rápido, ágil y eficiente para alcanzar y mantener la velocidad de los equipos de pavimentación. Generalmente el concreto compactado con rodillo se transporta en camiones volquetes o vagonetas.

Para disminuir la segregación, la descarga desde los camiones se debe realizar a partir de tolvas con alturas de caída lo más pequeñas posibles. Se recomienda la utilización de lonas que protejan al concreto de la lluvia y de la desecación durante el transporte.

III.9.3 Colocación

La colocación del concreto se puede realizar mediante motoniveladoras, pavimentadoras usadas para concreto asfáltico o pavimentadoras utilizadas tradicionalmente para concreto convencional, aunque con algunas modificaciones.

Las motoniveladoras tienen la ventaja de disponer de gran capacidad y de permitir regar el material sobre una superficie muy extensa sin la necesidad de juntas longitudinales. Son útiles en carreteras donde las exigencias de regularidad superficial no sean muy altas o en carreteras que posteriormente se cubrirán con una carpeta de rodadura de concreto asfáltico.

Las pavimentadoras permiten controlar tanto la pendiente como el bombeo y lograr superficies de mejor calidad. Adicionalmente garantizan un espesor uniforme con ritmos de colocación de hasta 1.2 m/min. Cuando es necesario colocar pavimentos en espesores mayores de 250 milímetros, se deben modificar las pavimentadoras de tal forma que puedan manejar volúmenes grandes de material y en estos casos es recomendable el uso de extendedoras provistas de pisones o reglas vibrantes que produzcan una precompactación significativa que permita conseguir una buena regularidad superficial, sin que haya necesidad de colocar el pavimento en varias capas.

En la actualidad existen compañías que fabrican máquinas pavimentadoras adecuadas para la colocación de concreto compactado con rodillo, provistas de pisones o tampers, las que tienen la capacidad de vibrar y compactar (a medida que riegan el concreto), hasta un 90% de la densidad óptima, disminuyendo así la compactación con los rodillos y haciendo el sistema más rápido y económico, mejorando sustancialmente los acabados superficiales (planicidad, rugosidad y apariencia).

Foto No. 2
Pavimentadora ABG TITAN

Foto No.3
Colocado del CCR

Es importante tener en cuenta que los espesores de colocación del concreto se deben incrementar entre un 15 y un 25% con respecto a los de diseño para obtener el espesor correcto cuando se finalice el proceso de compactación.

III.9.4 Compactación

Después de la colocación se debe proceder inmediatamente a la compactación en una sola capa. Este proceso se completa en tres etapas: la primera, una compactación con rodillo vibratorio, la segunda con un compactador de llantas lisas o neumáticos y la tercera con un rodillo liso (sin vibración) para darle mejor acabado.

Los equipos más comúnmente utilizados para la compactación son los rodillos vibratorios lisos con un peso muerto de 9 a 11 toneladas y una carga estática lineal de 15 a 30 kN/m. También debe usarse, dependiendo de las especificaciones de diseño, un compactador neumático de aproximadamente 20 toneladas de llantas múltiples, con una presión de inflado apropiada. Las Especificaciones Generales de Construcción de Costa Rica 2002 señalan

que la utilización del rodillo neumático es opcional al uso del rodillo liso sin vibración y que debe ser de igual o mayor peso que éste, con una presión de inflado superior a 8 kg/cm^2.

Las tres etapas de compactación se llevan a cabo de la siguiente forma:

1. Se inicia con el rodillo con los vibradores accionados, con un número de pasadas que depende del tipo de equipo, de las características de la fundación y del espesor de la capa. En esta etapa se debe evitar devolver el rodillo por el mismo carril para que no se produzcan ahuellamientos.

   El concreto debe haber alcanzado por lo menos el 97% de la densidad del Proctor Modificado y el número de pasadas se debe definir con anterioridad por medio de ensayos. En la tabla siguiente se muestran la cantidad de pasadas recomendadas en función de los equipos a utilizar y los espesores máximos.

Tabla No. 2
NUMERO DE PASADAS RECOMENDADAS
DEL EQUIPO DE COMPACTACIÓN

EQUIPO DE COMPACTACION	No. MINIMO DE PASADAS	ESPESOR MAXIMO (mm)
Pisón vibratorio (mínimo 400 kg)	4	150
Rodillo vibratorio sencillo		
15 kN/m	6	150
25 kN/m	6	250

Rodillo vibratorio		
Tándem		
10 kN/m	6	100
20 kN/m	4	150
30 kN/m	4	250

2. La segunda etapa consiste en pasar el equipo con llantas neumáticas una o dos veces para que sellen todas las fisuras que quedan en la superficie después del vibrado y para asegurar un mejor acabado y calidad. Esta etapa se puede omitir cuando se va a cubrir la superficie con una capa asfáltica.

3. La tercera y última etapa puede lograrse con una o dos pasadas del rodillo en forma estática primero hacia delante y luego hacia atrás sobre el mismo carril, para borrar las huellas dejadas por el equipo con llantas neumáticas.

Foto No.4

Compactado del CCR

III.9.5 Curado

Como todo pavimento, el concreto compactado con rodillo necesita un buen curado para evitar fisuras propias de la retracción. Inmediatamente después de que se termine la compactación, debe empezarse el curado ya sea con agua, empleando una capa de arena húmeda u otros como manta de algodón, camiones regaderas o sistemas atomizadores, o bien aplicando emulsiones asfálticas con un rociador.

Foto No.5

Foto No.6

Aplicación de la membrana de curado

III.9.6 Construcción de juntas

Los cortes de las juntas se deben ejecutar durante las primeras 24 horas después de compactado el concreto, tan pronto éste tenga la consistencia suficiente para que no se desgrane (generalmente a las 2 o 3 horas de terminada la compactación). Las juntas transversales deben hacerse con un espaciamiento máximo entre 15 y 20 m, aunque la práctica reciente en Europa y Argentina recomienda una longitud de losas entre 5 y 6 m. Las juntas deben ser selladas para evitar la estanqueidad del pavimento.

Juntas frías

Cuando las condiciones del proyecto exijan construir el ancho de la vía en dos o más franjas, se deben evitar las juntas de construcción frías, colocando y compactando el concreto por carriles en un período inferior a 90 minutos, dejando de compactar unas franjas de 0.20 a 0.30 m. de ancho en el borde de los carriles adyacentes para luego compactar simultáneamente las dos franjas.

Las juntas frías pueden ser longitudinales y transversales y se deben en principio a dos razones:

1. La interrupción en la construcción por fallas en el suministro del concreto o por la finalización de la jornada laboral.

2. Las limitaciones del equipo constructivo

Las juntas pueden ser construidas mediante el uso de pavimentadoras, pero preferentemente aserrando el concreto con sierras del tipo soft-cut o green-cut; deben tener un plano vertical que se obtiene cortando el concreto cuando aún se encuentra fresco con un espesor mínimo de 5 mm y una profundidad mínima de 30 mm. Una vez terminados los cortes se limpian las juntas con aire o agua a presión y se rellenan con cintas de caucho o silicón.

En los casos de juntas frías, al reiniciar la construcción se descarga la mezcla a lo largo de la junta con el sobreespesor necesario y éste también se provee en una franja de unos 8 cm de ancho sobre el concreto endurecido de la junta, luego se hace circular los compactadores a lo largo de la junta con el rodillo montado 0.30 m sobre el concreto fresco.

Foto No.7
Aserrado de Juntas

Foto No. 8
Detalle de juntas aserradas

III.10 Control de calidad

III.10.1 Control de fabricación (Control en Planta)

Además del correcto calibrado de la planta, sea ésta por pesada o por volumen y de los controles específicos para cada material acopiado, es importante el control de la granulometría de la mezcla. Para ello se tomará material mezclado seco, antes del ingreso del agua, y se determinará su granulometría para compararla con la mezcla granulométrica tipo, realizando las correcciones que correspondan si fuera necesario.

Se comprobará la humedad de la mezcla un mínimo de cinco (5) veces al día.

Dos (2) veces al día se comprobarán la granulometría, especialmente el contenido de finos, y el contenido de cemento.

Se llevará asimismo un control del consumo medio del cemento.

Se moldearán probetas con material extraído en planta, para luego de curadas, ensayarlas a rotura por compresión diametral, lo que permitirá verificar la calidad estructural de la mezcla.

III.10.2 Control de puesta en obra

1. Compactación

   Este control se refiere al procedimiento y número de pasadas aprobados en el tramo de prueba. Se utilizará siempre que sea posible, equipos gráficos de registro instalados en los compactadores, para controlar su velocidad de avance, la frecuencia de la vibración, el tiempo de trabajo y la distancia recorrida.

2. Densidad

   Se efectuará una medición en sitios aleatorios, con una frecuencia mínima de una medida por cada cien metros cuadrados (100 m^2) de superficie de capas, recomendándose el empleo de sondas nucleares.

3. Humedad in situ

   Se efectuarán medidas en sitios aleatorios, en correspondencia con las efectuadas en el control de fabricación. En las zonas donde se hubiera manifestado algún problema éste deberá ser corregido debidamente.

   Si se produjeran desviaciones muy frecuentes, superiores a las tolerables, se reforzará el control al día siguiente.

4. Espesores

Cada diez metros (10 m) de extendido deberá realizarse, sobre el material sin compactar, un control de espesor mediante inca de un clavo con escala, teniendo en cuenta la disminución que sufrirá el material al compactarse.

5. Tiempo de manejabilidad

Deberá controlarse la temperatura en el extendido y, según los ensayos previos, dosificar el retardador.

Cuando así lo indique el director de las obras, se procederá al control del tiempo de manejabilidad del concreto seco, por el método de la medida del tiempo de propagación del sonido u otro método aprobado por aquel.

6. Curado

Se controlará que la superficie del concreto compactado permanece constantemente húmeda antes de la extensión del producto de curado.

Se realizará un control diario, como mínimo, de la dosificación del producto de curado, mediante placa de setecientos milímetros (700 x 700 mm).

III.11 COSTOS ASOCIADOS A LOS PAVIMENTOS DE CCR

Para determinar los costos asociados de los diferentes tipos de pavimento se deben tomar en cuenta los costos de construcción, costos de mantenimiento (periódico y rutinario), costos de operación vehicular y costos de tiempo de los usuarios de la vía.

Los costos de construcción se componen básicamente de los imputables a los materiales, renta y operación de equipos, mano de obra y administración, más las utilidades convenidas.

En los Estados Unidos, en muchos proyectos donde se requieren alternativas para establecer costos, el Concreto Compactado con Rodillo ha demostrado economías del 20% al 25% sobre el pavimento convencional de hormigón e igualmente la comparación de costos con superficies asfálticas resulta muy favorable. En Portland, Oregon, el CCR resultó 24.4% más barato que el pavimento asfáltico de igual capacidad de carga.

En una investigación realizada en Cuba se concluyó que el costo del CCR es relativamente bajo para tráficos medios y altos, no obstante que es difícil conseguir una buena regularidad superficial.

En un estudio comparativo llevado a cabo en Ecuador sobre los costos asociados a los pavimentos asfálticos y pavimentos de concreto, se concluyó que las alternativas de concreto, especialmente las de concreto compactado con rodillo, resultan económicamente más convenientes y superan con holgura a las alternativas de pavimentos asfálticos, que son las más habituales en Ecuador.

IV. APLICACIÓN PRACTICA SOBRE EL CCR

IV.1 PRUEBAS DE LABORATORIO PARA EL DISEÑO DE MEZCLA

Para efecto de conocer el proceso de diseño de la mezcla y del comportamiento de los materiales nicaragüenses posibles de usar en la fabricación del concreto compactado con rodillo, se llevaron a cabo pruebas de laboratorio, tanto en el recinto Universitario “Pedro Aráuz Palacios”, de la Universidad Nacional de Ingeniería, como en la empresa privada Ingeniería de Materiales y Suelos, dirigidas a la caracterización del cemento, grava y arena, disponibles en el mercado local, en función de su potencial utilización como pavimento de concreto compactado con rodillo.

En el Laboratorio de Materiales de la UNI, se acopió arena y grava de ¾” disponible en el predio, de orígen desconocido, se determinó la curva granulométrica de la arena y del agregado grueso, es decir la curva que muestra los diferentes porcentajes en peso del material que pasa por cada una de los tamaños de malla predeterminados.

Seguidamente, se determinó la gravedad específica del cemento Portland Tipo 1 de la marca CANAL, y la colorimetría de la arena.

En las tablas siguientes se muestra la composición granulométrica del agregado grueso retenido en la malla No. 4 y del agregado fino.

Tabla No. 3

Composición granulométrica de la grava retenida en la malla No. 4

Malla	Peso Retenido Parcial (grs)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasando
1"	0	0.0	0	100
3/4"	364	13.4	13.4	86.6
1/2"	836	30.7	44.1	55.9
3/8"	724	26.6	70.6	29.4
4	800	29.4	100.0	0.0
TOTAL	2724	100.0		

Tabla No. 4

Composición granulométrica de la arena

Malla	Peso Retenido Parcial (grs)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Pasando
8	460	21.6	21.6	78.4
16	599	28.2	49.8	50.2
30	502	23.6	73.4	26.6
50	270	12.7	86.1	13.9
100	217	10.2	96.3	3.7
200	15	0.7	97.0	3.0
P 200	63	3.0	100.0	0.0
TOTAL	2126	100.0		

Con estos resultados de granulometría se efectuaron combinaciones teóricas de grava y arena en diferentes proporciones (ver Anexos) para determinar que proporciones de los mismos permitían estar dentro de los límites en pesos porcentuales según los tamaños de malla, recomendados por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, encontrando que

ninguna de las combinaciones permitía cumplir el 100% y que la que más se aproximaban a estas especificaciones era combinando el 35% de agregado grueso con el 65% de arena y el 30% de agregado grueso con el 70% de arena, habiendo separado del material grueso la porción que pasa la malla No.4, posteriormente se hicieron combinaciones de arena y agregado grueso incluyendo la porción de éste que pasa la malla No.4 y de igual manera ninguna de las combinaciones permitió cumplir con la curva granulométrica recomendada, notándose que las combinaciones que tenían 45% o menos de agregado grueso fueron las que más se aproximaron al rango de valores recomendados (ver anexos). Contrariamente a lo antes anotado y como se verá seguidamente, durante las pruebas de densidad – humedad, se determinó que la combinación de estos materiales de mayor densidad de mezcla y por lo tanto de mayor resistencia es la combinación de 60% de agregado grueso y 40% de agregado fino.

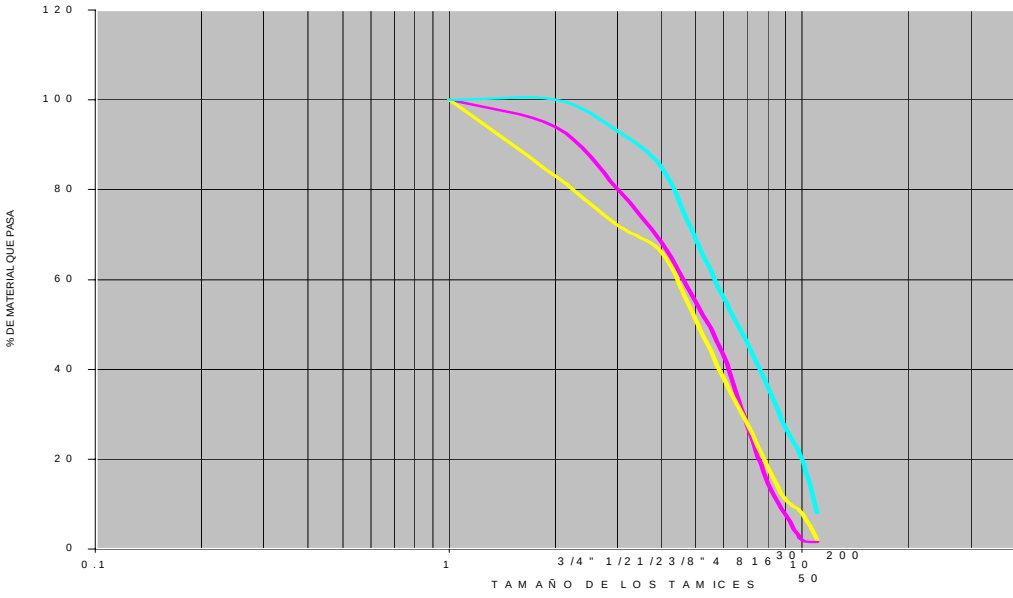


Gráfico No.1. Curva Granulométrica

Se determinó la Gravedad Específica del cemento, vaciando 64 grs de material en un frasco de Chatelier, en el cual previamente se vertió gasolina hasta una marca de 0.8 ml, habiendo tomado la temperatura de la gasolina antes de vaciar el cemento, 27.5°C y a la hora de la lectura del volumen total del frasco con el cemento dentro, 27.8°C, resultando un volumen de 22.4 ml, luego se determinó la Gravedad Específica del cemento CANAL, 2.96. Posteriormente se llevó a cabo una prueba similar en Ingeniería de Materiales y Suelos en la cual se determinó que la Gravedad Específica del cemento CANAL era de 3.13(ver Anexos). Durante la elaboración de la Monografía "ESTUDIO DE LA RESISTENCIA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO 1 DE DIFERENTES MARCAS ELABORADAS EN NICARAGUA ", efectuada en la Universidad Nacional de Ingeniería, se encontró que este cemento tenía una Gravedad Específica que oscila entre 3.08 y 3.10, por lo que, como se podrá ver más adelante, y siguiendo recomendaciones de la empresa Ingeniería de Materiales y Suelos, para el diseño de la mezcla de concreto hidráulico y por lo tanto para el cálculo de espesores de pavimento se utilizó como Gravedad Específica del cemento 3.10

Se realizó la prueba de colorimetría de la arena, mediante el empleo de pastillas de hidróxido de sodio, 6 grs, determinándose que de acuerdo al color resultante de la solución, grado 1 en comparación con el colorímetro, ésta se encontraba limpia y por lo tanto se podía utilizar sin lavado previo.

Para los materiales pétreos se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla No. 5

Propiedades de los materiales pétreos

Material	P.V.S.S. (kg/m^3)	P.V.S.C. (kg/m^3)	Peso Específico Aparente	Peso Específico	Absorción
Arena	1.48	1.64	2.73	2.43	4.56%
Grava	1.43	1.60	2.92	2.77	1.89%

Posteriormente, usando el método del Proctor Modificado se efectuaron ensayos de densidades de mezclas con diferentes proporciones de agregados grueso y fino, manteniendo las mismas cantidades de cemento y de agua, para determinar cual era la de mayor densidad y por lo tanto la más resistente a la compresión, de las cuales se seleccionó la que se consideró de mayor densidad. Se utilizó 84 % de agregados pétreos, 12% de cemento y 4% de agua, compactado en 5 capas con 56 golpes de martillo de 10 lb., usando un molde de 15.4 cm de diámetro y 17.1 cm de altura, con un volumen de 3,185.13 ml. En la tabla y gráfico siguientes se muestran los resultados.

Tabla No. 6

PRUEBAS DE DENSIDADES DE MEZCLA

No.	Agregado Grueso (%)	Agregado Fino (%)	Peso Muestra (grs)	Densidad	Relación AF/AG
1	40	60	7,117	2.23	1.50
2	46	54	7,210	2.26	1.17
3	50	50	7,361	2.31	1.00
4	54	46	7,439	2.34	0.85
5	60	40	7,475	2.35	0.67
6	70	30	7,351	2.31	0.43

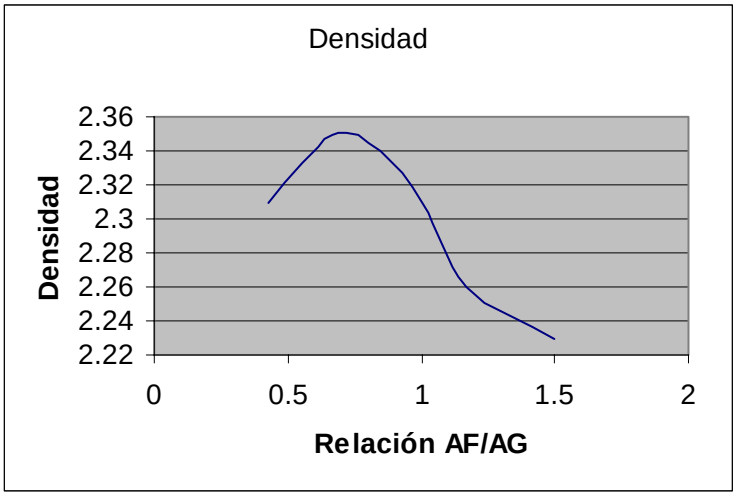


Gráfico No. 2

Densidad de mezcla húmeda vs Relación AF/AG

Se encontró que la Relación Agregado Fino/Agregado Grueso que dio como resultado una mezcla de mayor densidad fue la de 0.67, que corresponde a 60% de Agregado grueso y 40% de agregado Fino, del total del peso de material pétreo.

Con esta proporción se fabricaron probetas cilíndricas de concreto con diferentes contenidos de humedad, entre 4 y 6%, que son los límites recomendados, manteniendo constante la cantidad de cemento, con el propósito de encontrar la humedad óptima de mezclado, obteniéndose los resultados que se muestran a continuación.

Tabla No. 7

% DE HUMEDAD VS DENSIDAD DE MEZCLA HUMEDA

% DE HUMEDAD	DENSIDAD(grs. / cm^3)
3.5	2.31
5	2.38
6	2.42

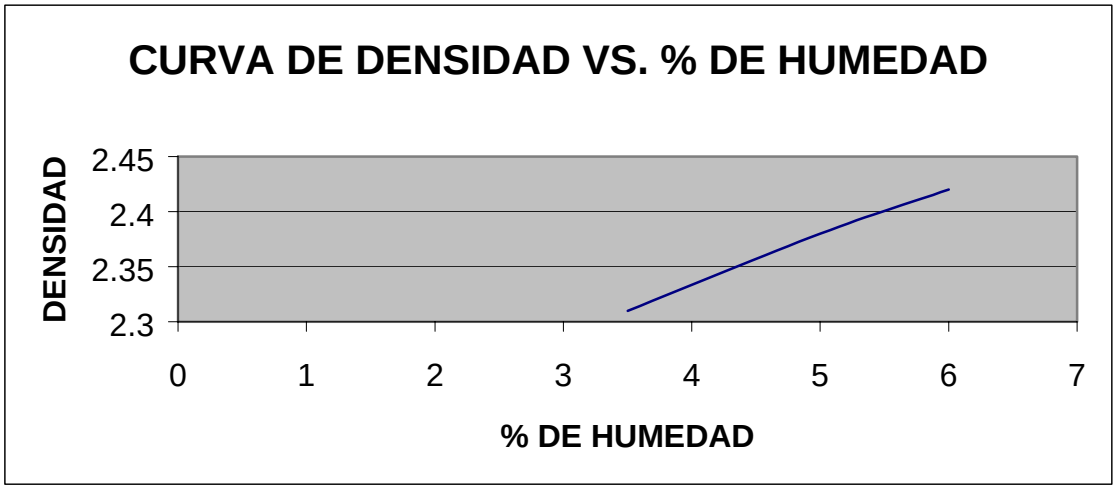


Gráfico No. 3

Densidad de Mezcla húmeda vs % de Humedad

En el rango de 4 a 6% resultó que la humedad óptima era del 6%.

Una vez definida la humedad óptima y determinada la proporción de agregado de mayor densidad de la mezcla, se debieron fabricar probetas cilíndricas de concreto manteniendo fija la cantidad de agua y de agregados y variando la cantidad de cemento para elaborar una curva que debería ser cantidad de cemento vs resistencia a la compresión, y con el auxilio de ésta seleccionar la cantidad de cemento que dé la compresión deseada. Para

realizar estas pruebas, ante la falta de condiciones adecuadas del Laboratorio de la Universidad de Ingeniería, se solicitó la colaboración a la empresa Ingeniería de Materiales y Suelos, y con material procedente de PROINCO, tamaño máximo ¾", arena de Motastepe y Cemento CANAL, se elaboraron pruebas de caracterización de los materiales y se elaboraron una curva de Cantidad de Cemento vs. Densidad de la mezcla húmeda y pruebas de resistencia a compresión, según se muestra seguidamente:

Tabla No. 8
DENSIDAD DE MEZCLA HÚMEDA VS CONTENIDO DE CEMENTO
(Porciones de componentes en porcentaje por peso)

No. Mezcla	Grava	Arena	Agua	Cemento	A/C, incluye Absorción.	Densidad (grs./ml)
1	48.94	32.63	5.66	12.78	0.44	2.26
2	48.32	32.21	6.7	12.77	0.52	2.29
3	49.06	32.71	6.55	11.68	0.56	2.34

Como se podrá notar de los resultados anteriores, la densidad de mezcla resultó ligeramente menor con el mayor contenido de cemento, lo que probablemente esté relacionado con el aumento significativo de la relación agua cemento en el caso de los otros especímenes y al hecho de que era la primera vez que se trabajaba con este material.

Para llevar a cabo mediciones de resistencia a la compresión axial, que permitieran corroborar la obtención de valores esperados y permisibles de este parámetro con materiales locales, se fabricaron 6 especímenes cilíndricos, de 15 cm de diámetro por 30 cm de alto, con diferentes proporciones de sus componentes, sin utilizar fielmente los hallazgos en las pruebas llevadas a cabo en el Laboratorio de la UNI, de contenidos óptimos

de agua y cemento, según se muestra seguidamente, debido a que en esta ocasión se usaron otras fuentes de materiales.

Tabla No. 9

CONTENIDO DE CEMENTO VS. RESISTENCIA A LA COMPRESION

(Porciones de componentes en porcentaje por peso)

No. Mezcla	Grava	Arena	Agua	Cemento	F´c 7 días(psi)	F´c 14 días(psi)
1	48.94	32.63	5.66	12.78	1,999	2,370
2	48.32	32.21	6.7	12.77	1,769	2,282
3	49.06	32.71	6.55	11.68	1,981	1,981

Como se puede ver en la Tabla anterior, la mezcla que contenía la mayor proporción de cemento resultó con mayor resistencia a la compresión, tanto a lo 7 días como a los 14 días, como era de esperarse, así también por el hecho de que esta era la mezcla de menor relación agua/cemento. Si se toma en cuenta que a los 7 días un concreto tiene una resistencia de aproximadamente el 60% de la resistencia a los 28 días, con las mezclas 1 y 3 se puede obtener un concreto de más de 3,300 PSI a los 28 días.

IV. 2 USO DEL CCR EN LA CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS EN COSTA RICA.

El interés en el uso del concreto compactado con rodillo para la construcción de pavimentos se inició en 1994, a iniciativa del ACI Capítulo Costa Rica. En 1995 se contrató a un experto argentino para dar un curso sobre la materia y para asesorar en los proyectos pilotos que se ejecutaron en el marco del curso y en coordinación con la Municipalidad de San José, que consistieron

en la pavimentación de 107 m de calle, en dos proyectos, y el bacheo de un tramo de dos cuadras.

En todos los casos se utilizó un concreto conformado por 16.24% de piedra de tamaño máximo de 25 mm, 64.96% de arena, 14% de cemento y 4.8% de agua. Se obtuvo una densidad seca máxima de 2,329 kg/m^3. Con esa dosificación se obtuvo tanto en laboratorio con en control de campo, una resistencia a la tracción indirecta de 17 kg/cm^2 y 19.3 kg/cm^2 de resistencia a la flexotracción, ambos a los siete días.

El concreto fue distribuido con niveladora y se compactó con un rodillo vibratorio de 10 toneladas de peso estático, pasando cuatro veces ida y vuelta sin vibración y dos pasadas vibradas. Para efecto de acabado final se dieron dos pasadas con compactador de llanta de hule. Se logró alcanzar un 98% de la densidad seca máxima del Proctor Modificado.

El curado del concreto se realizó en todos los casos con emulsión asfáltica, extendida por un camión distribuidor. La totalidad del pavimento fue cubierta con una delgada capa de arena para proteger el curado de la acción de las llantas del tránsito.

La apertura del tránsito se hizo inmediatamente después de terminada la operación de construcción y una vez se produjo la rotura de la emulsión.

En uno de los proyectos se aserraron juntas transversales a cada seis metros, empleando un equipo manual con sierra de disco y punta de diamante.

A finales de 1995 la municipalidad de San José realizó otros trabajos de bacheo y pavimentación con CCR, utilizando los mismos materiales y procedimientos de la experiencia anterior.

En enero de 2002 el Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto compra una pavimentadora modificada ABG Titán 325 EPM, especial para colocar CCR, junto con un mezclador de doble eje horizontal, marca SIMEM, de 4 m^3 de capacidad para mezcla seca. El mezclador se montó sobre una carreta plana, con eje tandem, con el propósito de facilitar su transporte y poder utilizar las diferentes plantas dosificadoras de concreto que existen en Costa Rica.

Las primeras pruebas con la pavimentadora y mezcladora se realizan en las calles internas de la Industria Nacional de Cemento, donde se construyeron cerca de 5,000 m^2 de pavimento con 20 cm de espesor. Se utilizó una mezcla con agregado grueso de tamaño máximo de 19 mm. Se utilizó una mezcladora de 60 m^3/hora de capacidad.

Foto No. 9

Patio de maniobras de Industria Nacional de Cemento (Costa Rica)

En julio y agosto de 2002 se pavimentó un tramo de 2.30 km sobre la ruta nacional número 601, con un espesor de 20 cm, un ancho de calzada de 8 m

y un módulo de rotura del concreto de 4.5 Mpa a los 28 días, con un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 19 mm.

Se utilizaron las siguientes proporciones de materiales (base seca) por metro cúbico: piedra de 19 mm 590 kg, polvo de piedra (9.5 mm) 393 kg, arena de río 903 kg y cemento 335 kg.

La mezcla se colocó con la máquina pavimentadora del Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto, operada con una frecuencia de tampers de 1,700 rpm, con una carrera de 5 mm, y una vibración de plancha de 2,600 rpm. Se pavimentaron los dos carriles en forma independiente con una junta fría entre ellos.

El nivel de compactación logrado por la máquina ronda el 93% del Proctor Modificado, y la mezcla alcanza el 100% con el paso del rodillo liso, con dos pasadas sin vibrar, dos pasadas en vibración, y dos pasadas sin vibrar para acabado. Tan pronto la pavimentadora colocó el concreto, se vertió sobre éste un retardador de evaporación (Confill).

Luego del paso del rodillo vibratorio y al alcanzar la compactación de diseño se selló la superficie del pavimento con un riego de emulsión asfáltica, seguida con un sello de arena natural seca. El aserrado de juntas se inició pasadas las dos horas de compactado el concreto, utilizando una máquina soft cut, con una profundidad máxima de la junta de 38 mm. También se utilizó una máquina de corte convencional después de 6 horas de compactado el concreto.

Entre los dos carriles se originó una junta fría (longitudinal), la que fue rea-serrada y sellada.

Todas las juntas, tanto longitudinales como transversales, fueron repasadas, sopladas y selladas, utilizando Poliflex, sellador del tipo 3.

En enero de 2003 se pavimentó la calle Potrerillos, desde la radial Belén a la Planta de Concreto, en una longitud total de 1.4 km, siendo el espesor del pavimento 21 cm, en un ancho de calzada de 8.8 m. El módulo de rotura del concreto utilizado fue de 4.5 Mpa (a los 28 días).

El concreto se confinó con cunetas en ambos lados y un bordillo central. Se utilizó la siguiente proporción de materiales (base seca y suelta):

Piedra de 19 mm	565 kg/m3
Polvo de piedra (9.5 mm)	343 “
Arena de río	395 “
Cemento	159 “
Agua	111 litros/m^3

Se lograron rendimientos de alrededor de 300 ml en un carril por día de trabajo.

Foto No. 10

Calle Potrerillos (Costa Rica)

Otros proyectos que se pueden mencionar son:

1. Reconstrucción de la estructura del pavimento de la calle 24, entre avenidas Segunda y Paseo Colón de 60 m de largo por 10 m de ancho. Se colocaron 40 cm de espesor de material granular triturado y 20 cm de concreto compactado con rodillo.

2. Pavimentación de la calle de acceso a una mina de puzolana en Llano Grande de Cartago, en una longitud de 550 m, con un ancho promedio de 5 m y un espesor de diseño de 21 cm.

Foto No. 11
Calle en Llano Grande de Cartago (Costa Rica)

3. Reparación de losas en autopista Florencio del Castillo, en el que se sustituyeron las losas dañadas de la carretera de concreto convencional por losas de concreto compactado con rodillo.

Foto No. 12
Autopista Florencio del Castillo (Costa Rica)

De las inspecciones realizadas sobre estos proyectos y de la información recopilada sobre los mismos, se puede deducir que el comportamiento de éstos, desde el punto de vista estructural es satisfactorio, sin embargo, a simple vista y por circulación experimentada sobres los proyectos, se pudo observar texturas gruesas y rugosidades altas de lo que se podría esperar para un pavimento con circulación confortable. Hasta esta fecha no se han hecho mediciones de las texturas y rugosidades obtenidas en estos proyectos.

IV.3 DISEÑO DE PAVIMENTOS ALTERNATIVOS

A efectos de determinar las posibilidades de uso del Concreto Compactado con Rodillo en la construcción de pavimentos en el país, se llevaron a cabo diseños de estructuras de pavimentos alternativos, tales como concreto asfáltico, concreto hidráulico convencional, adoquines y concreto

compactado con rodillo, para las cuales también se determinaron sus costos de construcción.

IV.3.1 Condiciones de suelo, climatológicas y de tráfico considerados

Se diseñaron pavimentos para suelos con CBR de 1%, 2.5% y 5%, en condiciones de pluviosidad media y bajo dos alternativas de tráfico, 500,000 y 2,000,000 de Ejes Equivalentes Acumulados durante el período de su vida útil considerada, la que normalmente oscila entre 12 y 20 años, según la mayor importancia del camino, medida generalmente en base a su clasificación funcional y el tráfico al que presta o puede prestar servicio.

IV.3.2 Métodos de diseño utilizados

A propósito de mantener criterios y procedimientos propuestos por una misma autoridad internacional en materia de diseño de pavimentos, se optó por emplear para el diseño de las estructuras de pavimentos alternativas, los métodos propuestos por la American Associations of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Para el diseño de los espesores de pavimentos de Concreto Compactado con Rodillo se utilizó la misma fórmula propuesta por la AASHTO para el diseño de espesores de pavimento hidráulico o convencional, dado que así lo sugiere la literatura técnica consultada.

En el caso del diseño de estructura de pavimento con carpetas de adoquines, no obstante que el Método de diseño del TRRL Laboratory Report 1132”The Structural design of bituminous roads” señala que cuando se tiene tráfico canalizado acumulado de diseño hasta de o menor a 1,500,000 ejes equivalentes y subrasantes con un CBR igual o mayor de

5%, no se requiere el uso de subrasantes mejoradas ni de bases, bastando 15 cm de subbase granular, para efectos de tener un punto común de comparación de las diferentes estructuras de pavimentos se utilizó el método de la AASHTO.

IV.3.3 Estructuras de pavimentos resultantes

1- Estructuras de alternativas de pavimento resultantes para un tramo de carretera de 1 km de largo y 6 m de ancho, sin hombros, sobre un suelo de CBR = 1% y un tráfico acumulado durante su vida útil de 500,000 EE.

Tabla No. 10
ESPESORES DE CAPAS RESULTANTES
CBR=1%, 500,000 ESAL´s

	ESPESOR (CMS)		
TIPO DE RODADURA	SUB BASE GRANULAR	BASE GRANULAR	CARPETA DE RODAMIENTO
Concreto Asfáltico	58	7.5	10
Concreto Hidráulico	10	0	17.5
Concreto Compact. con Rod.	10	0	17.5
Adoquín	44	20	10

2- Estructuras de alternativas de pavimento resultantes para un tramo de carretera de 1 km de largo y 6 m de ancho, sin hombros, sobre un suelo de CBR = 2.5% y un tráfico acumulado durante su vida útil de 500,000 EE.

Tabla No. 11

ESPESORES DE CAPAS RESULTANTES

CBR=2.5%, 500,000 ESAL´s

	ESPESOR (CMS)		
TIPO DE RODADURA	SUB BASE GRANULAR	BASE GRANULAR	CARPETA DE RODAMIENTO
Concreto Asfáltico	30	7.5	10
Concreto Hidráulico	10	0	17.5
Concreto Compact. con Rod.	10	0	17.5
Adoquín	22	15	10

3- Estructuras de alternativas de pavimento resultantes para un tramo de carretera de 1 km de largo y 6 m de ancho, sin hombros, sobre un suelo de CBR = 5% y un tráfico acumulado durante su vida útil de 500,000 EE.

Tabla No. 12

ESPESORES DE CAPAS RESULTANTES

CBR=5%, 500,000 ESAL´s

	ESPESOR (CMS)		
TIPO DE RODADURA	SUB BASE GRANULAR	BASE GRANULAR	CARPETA DE RODAMIENTO
Concreto Asfáltico	14	7.5	10
Concreto Hidráulico	10	0	17
Concreto Compact. con Rod.	10	0	17
Adoquín	24	0	10

4- Estructuras de alternativas de pavimento resultantes para un tramo de carretera de 1 km de largo y 6 m de ancho, sin hombros, sobre un suelo de CBR = 1% y un tráfico acumulado durante su vida útil de 2,000,000 EE.

Tabla No. 13

ESPESORES DE CAPAS RESULTANTES

CBR=1%, 2,000,000 ESAL´s

	ESPESOR (CMS)		
TIPO DE RODADURA	SUB BASE GRANULAR	BASE GRANULAR	CARPETA DE RODAMIENTO
Concreto Asfáltico	76	11	14.5
Concreto Hidráulico	15	0	24
Concreto Compact. con Rod.	15	0	24
Adoquín	61	40	10

5- Estructuras de alternativas de pavimento resultantes para un tramo de carretera de 1 km de largo y 6 m de ancho, sin hombros, sobre un suelo de CBR = 2.5% y un tráfico acumulado durante su vida útil de 2,000,000 EE.

Tabla No. 14

ESPESORES DE CAPAS RESULTANTES

CBR=2.5%, 2,000,000 ESAL´s

	ESPESOR (CMS)		
TIPO DE RODADURA	SUB BASE GRANULAR	BASE GRANULAR	CARPETA DE RODAMIENTO
Concreto Asfáltico	39	11	14.5
Concreto Hidráulico	15	0	24
Concreto Compact. con Rod.	15	0	24
Adoquín	42	25	10

6- Estructuras de alternativas de pavimento resultantes para un tramo de carretera de 1 km de largo y 6 m de ancho, sin hombros, sobre un suelo de CBR = 5% y un tráfico acumulado durante su vida útil de 2,000,000 EE.

Tabla No. 15
ESPESORES DE CAPAS RESULTANTES
CBR=5%, 2,000,000 ESAL´s

	ESPESOR (CMS)		
TIPO DE RODADURA	SUB BASE GRANULAR	BASE GRANULAR	CARPETA DE RODAMIENTO
Concreto Asfáltico	16	11	14.5
Concreto Hidráulico	15	0	24
Concreto Compact. con Rod.	15	0	24
Adoquín	31	15	10

IV.3.4 Costos de pavimentos alternativos resultantes

Para la determinación de los costos de las estructuras de pavimento, para las carpetas de concreto asfáltico y adoquines, bases y subbases granulares, se revisaron diferentes proyectos licitados durante los últimos años por el Ministerio de Transporte e Infraestructura y se obtuvieron promedios para ser utilizados en las estimaciones de costos. Ver Anexos.

En el caso de las carpetas de concreto hidráulico y de concreto compactado con rodillo se hicieron estimaciones propias, utilizando información disponible en el software Sistema de Costos Unitarios, que la la Agencia danesa de Cooperación Internacional financió para el MTI, así también se

hicieron consultas con especialistas en el ramo, que actualmente se desempeñan como consultores. En Anexos se muestran los resultados.

En el cálculo del costo/kilómetro de los diferentes tipos de pavimento, no se incluyeron hombros ni estructuras de drenaje, así también no fueron considerados los costos de mantenimiento ni los costos asociados con los usuarios y la administración de la carretera.

1. Comparación de costos de alternativas de pavimento para un tramo de carretera de 1 km de largo y 6 m de ancho, sin hombros, sobre un suelo de CBR = 1% y un tráfico acumulado durante su vida útil de 500,000 EE.

TIPO DE RODADURA	COSTO/Km	
	(US$)	%
Concreto Asfáltico CA	106,599.18	100.4
Concreto Hidráulico CH	123,472.44	116.3
Conc. Compac.con Rod. CCR	106,126.44	100.0
Adoquín AD	171,988.80	162.1

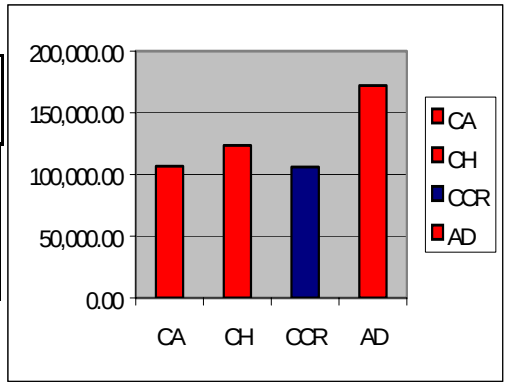
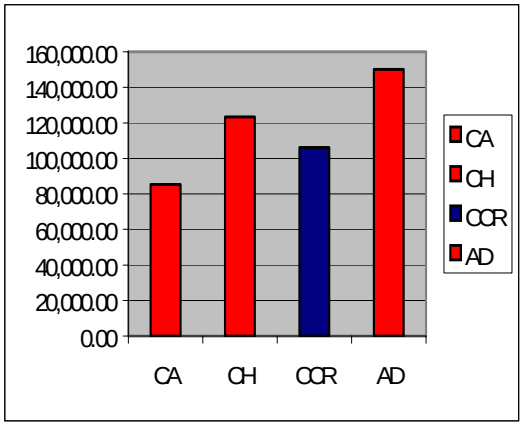


Gráfico No. 4
Comparación de costos de pavimentos alternativos
CBR=1%, 500,000 ESAL´s

2. Comparación de costos de alternativas de pavimento para un tramo de carretera de 1 km de largo y 6 m de ancho, sin hombros, sobre un suelo de CBR = 2.5% y tráfico acumulado durante su vida útil de 500,000 EE.

Gráfico No. 5

TIPO DE RODADURA	COSTO/Km	
	(US$)	%
Concreto Asfáltico CA	85,397.58	80.47
Concreto Hidráulico CH	123,472.44	116.3
Conc. Compac.con Rod. CCR	106,126.44	100
Adoquín AD	150,185.40	141.5



Comparación de costos de pavimentos alternativos
CBR=2.5%, 500,000 ESAL´s

3. Comparación de costos de alternativas de pavimento para un tramo de carretera de 1 km de largo y 6 m de ancho, sin hombros, sobre un suelo de CBR = 5% y un tráfico acumulado durante su vida útil de 500,000 EE.

TIPO DE RODADURA	COSTO/Km	
	(US$)	%
Concreto Asfáltico CA	73,282.38	70.83
Concreto Hidráulico CH	120,311.64	116.3
Conc. Compac.con Rod. CCR	103,461.24	100
Adoquín AD	136,264.80	131.7

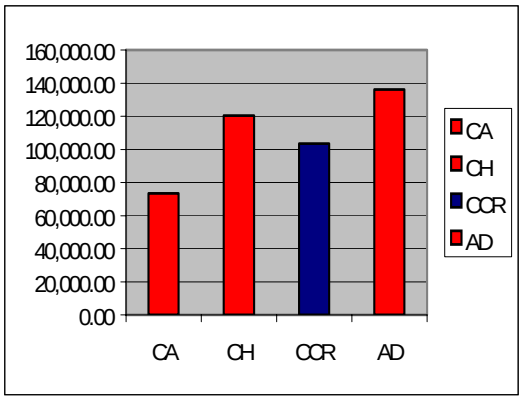


Gráfico No. 6

Comparación de costos de pavimentos alternativos
CBR=5%, 500,000 ESAL´s

4. Comparación de costos de alternativas de pavimento para un tramo de carretera de 1 km de largo y 6 m de ancho, sin hombros, sobre un suelo de CBR = 1% y un tráfico acumulado durante su vida útil de 2,000,000 EE.

TIPO DE RODADURA	COSTO/Km	
	(US$)	%
Concreto Asfáltico CA	147,213.84	101.8
Concreto Hidráulico CH	168,348.84	116.5
Conc. Compac.con Rod. CCR	144,560.04	100
Adoquín AD	205,441.20	142.1

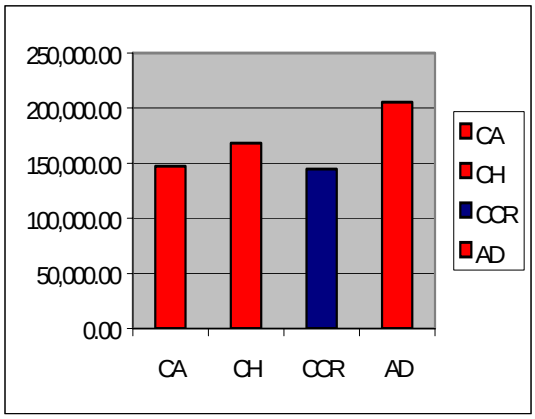


Gráfico No. 7
Comparación de costos de pavimentos alternativos
CBR=1%, 2,000,000 ESAL´s

5. Comparación de costos de alternativas de pavimento para un tramo de carretera de 1 km de largo y 6 m de ancho, sin hombros, sobre un suelo de CBR = 2.5% y un tráfico acumulado durante su vida útil de 2,000,000 EE.

TIPO DE RODADURA	COSTO/Km	
	(US$)	%
Concreto Asfáltico CA	119,197.44	82.46
Concreto Hidráulico CH	168,348.84	116.5
Conc. Compac.con Rod. CCR	144,560.04	100
Adoquín AD	175,619.40	121.5

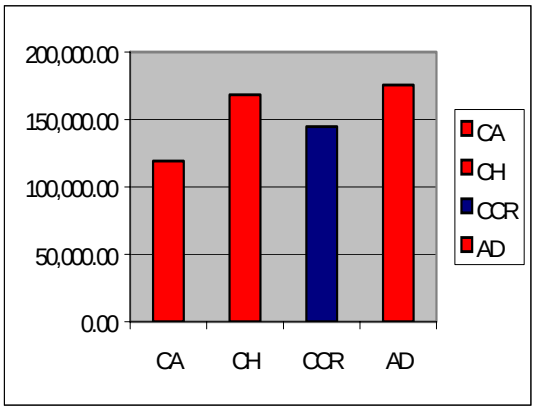


Gráfico No. 8

Comparación de costos de pavimentos alternativos

CBR=2.5%, 2,000,000 ESAL´s

6. Comparación de costos de alternativas de pavimento para un tramo de carretera de 1 km de largo y 6 m de ancho, sin hombros, sobre un suelo de CBR = 5% y un tráfico acumulado durante su vida útil de 2,000,000 EE.

TIPO DE RODADURA	COSTO/Km	
	(US$)	%
Concreto Asfáltico CA	101,781.84	70.41
Concreto Hidráulico CH	168,348.84	116.5
Conc. Compac.con Rod. CCR	144,560.04	100
Adoquín AD	157,000.20	108.6

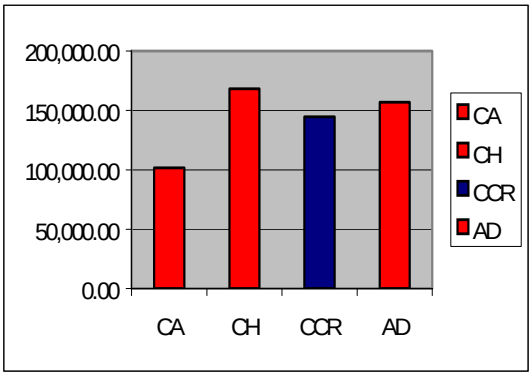


Gráfico No. 9

Comparación de costos de pavimentos alternativos

CBR=5%, 2,000,000 ESAL´s

7. Comparación de costos de pavimento de CCR para un tramo de carretera de 1 km de largo y 6 m de ancho, sin hombros, sobre suelos de CBR = 1%, 2.5% y 5%, con un tráfico acumulado durante su vida útil de 500,000 EE.

Valor Soporte del Suelo (CBR)	Costo /Km CCR
% 1	106,126.44
% 2.5	106,126.44
% 5	103,461.24

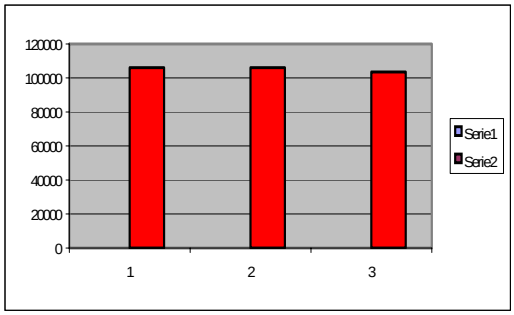


Gráfico No. 10

Comparación de costos de pavimentos de CCR vs CBR

(tráfico de 500,000 ESAL´s)

8. Comparación de costos de pavimento de CCR para un tramo de carretera de 1 km de largo y 6 m de ancho, sin hombros, sobre suelos de CBR = 1%, 2.5% y 5%, con un tráfico acumulado durante su vida útil de 2,000,000 EE.

Valor Soporte del Suelo (CBR)	Costo /Km CCR
% 1	144,560.04
% 2.5	144,560.04
% 5	144,560.04

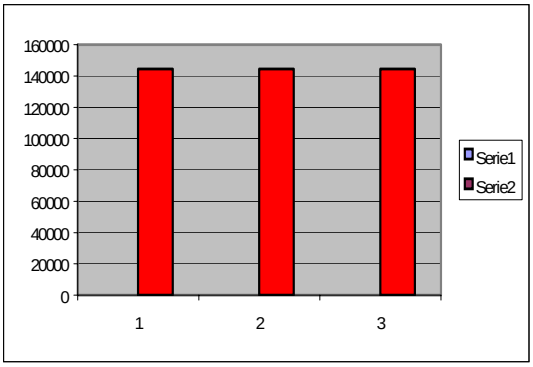


Gráfico No. 11

Comparación de costos de pavimentos de CCR vs CBR

(tráfico de 2,000,000 ESAL´s)

De los resultados anteriores se puede deducir que el pavimento de adoquines resulta de mayor costo en la generalidad de los casos, principalmente para tráficos menores y subrasantes con bajo valor portante, seguido del concreto hidráulico o convencional, luego del concreto compactado con rodillo. En todos los casos el pavimento de concreto asfáltico resultó de más bajo costo, a excepción del caso cuatro cuando su costo resultó ligeramente superior al del concreto compactado con rodillo.

En todos los casos la estructura de pavimento de concreto compactado con rodillo resultó de menor costo que los pavimentos de adoquines y de concreto hidráulico o convencional.

Es importante señalar que los costos y el confort asociados al uso de las vías están determinados de manera significativa por los Indices de Regularidad Internacional (IRI) y que en este sentido los pavimentos de asfalto permiten alcanzar un Indice de Regularidad (Rugosidad) mucho menor que los otros tipos de pavimentos y que el concreto compactado con rodillo es el que mayor IRI presenta al inicio de la operación de la vía. El IRI es la condición del firme más significativa que se usa en el cálculo de los costos sobre el usuario, particularmente en los costos de operación vehicular. La literatura técnica consultada señala que en un Pavimento asfáltico nuevo se pueden obtener IRI de hasta 1.5-2.0, que en el caso de los adoquines utilizados en Nicaragua este puede ser entre 4 y 5, que en el concreto convencional se obtiene entre 2.5 y 3 y que en el CCR puede variar entre 5 y 8, en dependencia del equipo utilizado y de la calidad de los trabajos realizados. Se debe tomar en cuenta también que los valores de IRI para el Concreto Hidráulico, el adoquín y el concreto compactado con rodillo tienen una tasa de deterioro mucho menor en el tiempo y que el concreto asfáltico requiere de mantenimiento más continuo para mantenerse en rangos aceptables. En general las carpetas de rodamiento con números

estructurales altos (rígidos y adoquines), tendrán una baja tasa de deterioro bajo un mismo régimen de tráfico y medio ambiental.

El Indice de Regularidad es un componente esencial del Indice de Serviciabilidad Presente de una vía y está estrechamente ligado con la percepción de comodidad y seguridad de los usuarios.

Tabla No. 16

COMPARACIÓN DE IRI OBTENIDOS EN DIFERENTES TIPOS DE PAVIMENTOS

TIPO DE RODADURA	INDICE DE RUGOSIDAD INTERNACIONAL AL INICIO DEL PROYECTO
Concreto Asfáltico	1.5 - 2.0
Concreto Hidráulico	2.5 - 3
Concreto Compactado con Rodillo	5 - 8
Adoquín	4 - 5

V. CONCLUSIONES

La red vial de Nicaragua es bastante amplia y aún quedan muchos caminos por mejorar, lo que ofrece la oportunidad y a la vez significa un reto para el planteamiento de soluciones de mejoramiento de la red que sean adecuadas a los requerimientos técnicos de su utilización y a las posibilidades económicas del país.

El funcionamiento adecuado del Sistema de Administración de Pavimentos del Ministerio de Transporte e Infraestructura, es fundamental para una buena planificación y gestión vial, a fin de determinar de manera adecuada en tiempo y forma el tipo y el momento de las intervenciones que se deben efectuar para conseguir los objetivos o metas predeterminadas en cuanto a la calidad de la red vial que se debe proporcionar al país, en función de las necesidades de transportación.

Actualmente el MTI no tiene muchas posibilidades de decidir, basado en procedimientos técnicos de evaluación de desempeño y la búsqueda dirigida, sobre las potencialidades de uso de determinado tipo de pavimento.

El CCR es utilizado a nivel mundial en la construcción de pavimentos, en una escala mucho menor que los pavimentos asfálticos, de concreto convencional y que los adoquines. En Centroamérica Costa Rica y El Salvador están iniciando su implementación.

Con base a los materiales y el equipo que se requiere para la producción y colocación del CCR y tomando en cuenta los resultados de las pruebas de laboratorio efectuadas, se puede determinar que en Nicaragua existe la posibilidad técnica de construir pavimentos de CCR, aunque en el país no se dispone del equipo más apropiado para obtener mejores resultados de

precompactación y menor Indice de Regularidad, como puede ser una Pavimentadora o Extendedora diseñada especialmente para este tipo de pavimentos. Esta existe en el vecino país de Costa Rica.

El costo de construcción del pavimento de CCR es competitivo con el de los otros tipos de pavimentos, resultando incluso menor que el de adoquines y que el de concreto convencional. Para un camino con tráfico de 500,000 ESAL´s durante su vida útil y suelo con CBR entre 1% y 2.5%, de 6 m de ancho el costo por km resultó de US$106,126.44, y para un camino de similares condiciones de suelo y con tráfico acumulado durante su vida útil de 2,000,000 de ESAL's su costo por km resultó de US$ 144,560.04.

VI. RECOMENDACIONES

El Ministerio de Transporte e Infraestructura, como órgano rector de la vialidad nacional, debe fortalecer sus órganos de planificación, principalmente el área del Sistema de Administración de Pavimentos, de tal manera que esta dependencia pueda con propiedad decidir sobre los tipos de pavimentos que se deben implementar en el país, lo que podría ser en función de las características del tráfico, tipos de suelo, régimen climático, topografía predominante de la zona, etc..

En concordancia con lo anterior, el MTI debería propiciar la construcción de tramos experimentales de tipologías posibles de pavimentos a construir, incluyendo la del concreto compactado con rodillo, a efecto de ir mejorando el conocimiento sobre el desempeño de los diferentes tipos de pavimento, con lo que se podrían evitar inversiones no funcionales y/o no rentables, o bien se obtendría un uso más eficiente de los recursos.

Se deben llevar a cabo estudios más completos sobre los costos totales de los diferentes tipos de pavimentos.

Debe ampliarse la cantidad y variedad de pruebas de laboratorio sobre el desempeño del CCR, y efectuarse bajo las condiciones más adecuadas, a fin de obtener suficiente información que haga posible su implementación en Nicaragua de forma exitosa.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Curso sobre Pavimentos de Hormigón Compactado con Rodillo “HCRV”
  Impartido por Ing. Juan Augusto Galizzi
  Costa Rica – Enero de 1995

- Diseño, Construcción y Mantenimiento de Pavimentos de Concreto
  Ing. Cipriano A. Londoño N.
  Instituto Colombiano de Productores de Cemento – ICPC, 2000

- Apuntes de Pavimento – Volumen I, II y III
  Ing. Gustavo Corredor M.
  Universidad Santa María – Caracas, Venezuela

- Pavimentos
  División de Investigaciones y Asesorías
  Colección Universidad de Medellín

- Construcción de Pavimentos
  Colección Básica del Concreto 5
  Instituto del Concreto – ICPC

- Notas Técnicas – ICPC
  - Concreto Compactado con Rodillo
  - Especificaciones de Construcción para Pavimentos de Concreto
  - Consideraciones sobre el Diseño de Mezclas y el Control de Calidad del Concreto de Cemento para Pavimentos
  - Construcción de Pavimentos de Concreto
  - Generalidades sobre los pavimentos

- Serie Monografías
  Hormigón Compactado con Rodillo
  Centro Técnico del Hormigón – Noviembre, 2001

- Desarrollo del Concreto Compactado con Rodillo (CCR) en la Construcción de Pavimentos de Concreto en Costa Rica
  Ing. Jorge Solano Jiménez
  Instituto Costarricense del Cemento y del Concreto, ICCYC

- Especificaciones Generales de Construcción de Costa Rica
  CR – 2002

- Especificaciones Generales de Construcción de Guatemala
  2002

- La Experiencia Española en la Pavimentación con Cemento
  ICPC – 1989

- Renta Horaria de Maquinaria y Equipo
  Ing. Luis Cortés Gaitán

- Práctica para dosificar Concreto Normal, Concreto Pesado y Concreto Masivo
  Noriega Editores – México, 1990

- Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones
  George B. Sowers y George F. Sowers
  Editorial Limusa - México, 1975

- Hormigón

Ing. Alejandro Sandino Pardo
Bogotá, 1970

- Especificaciones para la construcción de Carreteras y Puentes Regionales
  SIECA – 2001

- Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos
  SIECA – 2002

- Recomendaciones para la construcción de pavimentos y bases de concreto
  Noriega Editores – México 1989

- Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Calles y Puentes
  NIC – 2000

- Geotecnia Vial
  Dr. Oscar Gutiérrez
  Universidad Nacional de Ingeniería

- Monografía: Estudio de la Resistencia del Concreto con Cemento Portland Tipo I, de diferentes marcas elaboradas en Nicaragua.
  Br. Mayra Irene Martínez Rivera y Br. José Antonio López Medina
  Marzo, 2003

- Artículos tomados de INTERNET

VIII. A N E X O S

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
MAESTRIA EN INGENIERIA DE TRANSPORTE
TESIS: POSIBILIDADES DE USO DEL CCR PARA CONSTRUCCIÓN DE PAV. EN NICARAGUA

CALCULO DEL PRECIO UNITARIO DEL M^3 DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO

1- Materiales

Para la realización de este diseño, dado que aún no se contaba con los resultados de la prueba de laboratorio fehacientes que determinaran cual de las mezclas efectuadas con diferentes combinaciones de agregados petreos, cemento y agua era la más económica para obtener la resistencia deseada, este cálculo se efectuó con la mezcla que tenía 13% de cemento, 4% de agua y 49.8% de agregado grueso y 33.2% de arena, en peso, considerando los rendimientos correspondientes para cada material.La mezcla fresca(húmeda) pesó 2,350 kg por m^3

Desperdicio de cemento = 5%		Gravedad Específica del cemento:	3.1
Desperdicio de arena = 30%		P.V.S.C. Agregado Grueso:	1,600 kg/m^3
Desperdicio de agregado grueso = 15%		P.V.S.C. Agregado Fino:	1,640 kg/m^3
Desperdicio de agua = 30%		Peso Específico Aparente AG:	2.92
		Peso Específico Aparente AF:	2.73

Concepto	Unidad	Cantidad	Costo Unit. (US$)	Costo Total
Cemento CANAL	Bolsa	7.55	4.49	33.90
Agregado grueso	m3	0.46	17.25	7.94
Arena	m3	0.37	3.74	1.38
Riego asfáltico de curado	gln	0.11	1.43	0.16
Material de secado	m3	0.025	12.66	0.32
Agua	m3	0.122	0.28	0.03
			Sub Total	43.73
2- Equipo				
Dosificadora-mezcladora	hrs	0.080	176.45	14.116
Volquetes	hrs	0.100	27.54	2.754
Finisher	hrs	0.04	39.43	1.66
Compactadora de rodillos	hrs	0.014	33.43	0.468
Compactadora neumática	hrs	0.014	22.52	0.315
Cortadora	hrs	0.014	5.00	0.070
Cisterna de asfalto	hrs	0.007	29.24	0.205
			Sub Total	19.584
3- Mano de obra				
Capataz	hrs	0.11	1.65	0.182
Operadores Clase "A"	hrs	0.22	1.40	0.308
Operadores Clase "B"	hrs	0.33	1.10	0.363
Ayudantes	hrs	0.60	0.80	0.480
			Sub Total	1.333
P.S.S. (58.72%)				0.782
Viáticos	hrs	7.50	0.25	1.875
COSTO UNITARIO DIRECTO (CD)				67.30
COSTOS INDIRECTOS (CI) (20% de CD)				13.46
UTILIDADES (10% de CD+CI)				8.08
COSTO UNITARIO TOTAL DEL M^3 DE CCR US$				88.84