

**Factibilidad y Viabilidad de la Técnica de Concreto Compactado con Rodillo (CCR) como una Mezcla de Pavimentación Alternativa y Sostenible al Uso del Concreto Hidráulico Tradicional en la Ciudad de Tegucigalpa, Honduras para el año 2021.**

*Feasibility And Viability Of The Roller Compacted Concrete (CCR) Technique as an Alternative and Sustainable Paving Mix to the Use of Traditional Hydraulic Concrete in the City of Tegucigalpa, Honduras By The Year 2021.*

Baquedano Vásquez, Dilcia Dilenia, y Torres Euceda, Jonathan Edgardo; Factibilidad y Viabilidad de la Técnica de Concreto Compactado con Rodillo (CCR) como una Mezcla de Pavimentación Alternativa y Sostenible al Uso del Concreto Hidráulico Tradicional en la Ciudad de Tegucigalpa, Honduras para el año 2021. Revista Técnico-Científica Milímetro, Diciembre 2021, Vol.VIII No. 1; PP 32-48

Baquedano V., D. y Torres E., J; Revista Técnico-Científica Milímetro, Diciembre 2021, Milímetro, Vol. VIII No. 1; PP 32-48

Fecha de Recepción: 20 de Noviembre de 2021

Fecha de Aceptación: 20 de Diciembre de 2021

## **Factibilidad y Viabilidad de la Técnica de Concreto Compactado con Rodillo (CCR) Como una Mezcla de Pavimentación Alternativa y Sostenible al Uso del Concreto Hidráulico Tradicional en la Ciudad De Tegucigalpa, Honduras para el Año 2021.**

*Feasibility And Feasibility of the Roller Compacted Concrete (CCR) Technique as an Alternative and Sustainable Paving Mix to the use of Traditional Hydraulic Concrete in the City of Tegucigalpa, Honduras By the Year 2021.*

Dilcia Dilenia Baquedano Vásquez<sup>1</sup>  
Jonathan Edgardo Torres Euceda<sup>2</sup>

### **Resumen**

En Honduras, toda construcción de obra civil está regido bajo normas nacionales o en su defecto, internacionales, las cuales aseguran un correcto diseño y construcción de las mismas. Se cuenta con gran información en cuanto al diseño de diferentes obras de estructuras e infraestructuras, la principal normativa es el Código Hondureño de la Construcción, C.H.O.C. Entre las normas internacionales aceptadas en el país están la *American Concrete Institute* (Instituto Americano del Concreto, A.C.I.), *American Iron and Steel Institute* (Instituto Americano del Hierro y el Acero, A.I.S.I), *American Association of State Highway and Transportation Officials* (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes, AASHTO). Además, en Honduras se suele hacer uso del Manual Centroamericano De Dispositivos Uniformes Para El Control Del Tránsito de la Secretaría de Integración Económica Centroamericana, SIECA. A pesar de las diversas normas de diseño y construcción que están a disposición en el país, no se cuenta con una norma nacional para la conservación y mantenimiento de puentes, razón por la cual los proyectos de construcción de puentes en el país no contemplan medidas de mantenimiento de los mismos una vez se entrega el proyecto. Por esta razón, se pretende proponer una normativa local que establezca los tiempos, la metodología, las medidas preventivas y correctivas necesarias para un correcto mantenimiento de los puentes que existen en el tramo carretero CR112 conocido como Canal Seco.

**Palabras Claves:** *Conservación, Mantenimiento, Puentes, Concreto Pre-esforzado*

### **Abstract**

In Honduras, all civil works construction is governed by national or, failing that, international regulations, which ensure a correct design and construction of the same. There is great information regarding the design of different works of structures and infrastructures, the main regulation is the Honduran Construction Code, C.H.O.C. International standards accepted in the country include the American Concrete Institute (A.C.I.), American Iron and Steel Institute (A.I.S.I), American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). In addition, in Honduras, the Central American Manual of Uniform Devices for Traffic Control of the Secretariat of Central American

<sup>1</sup>Tegucigalpa, Honduras, Facultad de Ingeniería Civil, Teléfono: (504) 2225 74 55. Email: [dilcia.baquedano@upi.edu.hn](mailto:dilcia.baquedano@upi.edu.hn) <https://orcid.org/0000-0002-3771-0394>.

<sup>2</sup> Tegucigalpa, Honduras, Facultad de Ingeniería Civil, Teléfono: (504) 2225 74 55. Email: [jonathan.euceda@upi.edu.hn](mailto:jonathan.euceda@upi.edu.hn) <https://orcid.org/0000-0002-0822-7360>

Economic Integration, SIECA, is usually used. Despite the various design and construction standards that are available in the country, there is no national standard for the conservation and maintenance of bridges, which is why bridge construction projects in the country do not contemplate maintenance measures once the project is delivered. For this reason, it is intended to propose a local regulation that establishes the times, methodology, preventive and corrective measures necessary for the correct maintenance of the bridges that exist in the CR112 road section known as Canal Seco.

**Keywords:** *Conservation, Maintenance, Bridges, Prestressed Concrete*

## 1. Introducción

Los problemas de vías de comunicación es un tema que tiene relevancia a nivel del crecimiento económico de cada país, las técnicas de pavimentación han ido evolucionando, es de destacar que en el caso de Tegucigalpa según el portal de la AMDC 2020 (Alcaldía Municipal del Distrito Central , <https://www.amdc.hn>) y con datos de INSEP (Secretaría de infraestructura y servicios públicos) 2020 las construcciones y reparaciones que generalmente se realizan son por los dos procesos de pavimentos flexibles y rígidos, y solamente hay algunos proyectos que han utilizado la técnica de White Topping, es por esta razón que se vuelve importantes estudios que vayan dando un acercamiento a nuevas técnicas utilizadas en otros países que comparten las mismas condiciones ambientales y de crecimiento económico.

El objetivo del proyecto es el de analizar la factibilidad y viabilidad de la técnica de concreto compactado con rodillo (CCR) como una mezcla de pavimentación alternativa y sostenible al uso del concreto hidráulico tradicional en la ciudad de Tegucigalpa, Honduras para el año 2021, en términos de los materiales utilizados en la técnica del CCR, las gravas y arenas deben tener un tamaño máximo que puede variar desde 14 hasta 38 mm, el consumo del cemento puede variar entre 40 a 120 Kg/m<sup>3</sup>, El cemento por utilizar podrá ser portland común, de alta resistencia inicial, escoria granulada de alto horno, puzolánico u otro, el porcentaje óptimo de agua dentro de un metro cúbico de CCR varía entre 4 y 7% del peso de los materiales secos y en el caso de los aditivos puede ser necesario su uso fundamentalmente para aumentar el tiempo de trabajo del material; las cantidades a utilizar son semejantes a las usadas en los concretos tradicionales.

Como resultado importante del estudio, es el que considerando que las técnicas utilizadas en los proyectos de la AMDC de rehabilitación y bacheo con mezcla asfáltica, conformación y balastado, mejoramiento y reacondicionamiento de calles con adoquín, pavimentación de calle con concreto

hidráulico y la técnica de White Topping son procesos que por tiempos se han utilizado en las calles de Tegucigalpa sin tener certeza de soluciones sustentables y sostenibles. La técnica del CCR tiene muchas ventajas, concluyendo que la técnica del CCR es factible y viable como una mezcla de pavimentación alternativa y sostenible al uso del concreto hidráulico tradicional en la ciudad de Tegucigalpa, Honduras para el año 2021.

## 2. Justificación.

El uso de pavimentos de concreto hidráulico y pavimentos asfálticos son de las técnicas más usadas a través del tiempo, han sido utilizadas para resolver los problemas de las vías de comunicación terrestre, no obstante los costos aumentan gradualmente a través del tiempo debido a los mantenimientos constantes que se le deben proporcionar, es por eso que muchos países han tenido que buscar nuevas técnicas que sean más económicas y con mejores rendimientos tanto en el uso de materiales y procesos constructivos, una de esas técnicas es el del concreto compactado mediante compactación con rodillo (CCR).

La técnica del concreto compactado mediante compactación con rodillo (CCR) es definida por la American Concrete Institute (ACI) como el concreto que, en su estado no endurecido, apoyará un rodillo mientras es compactado, los avances de sus estudios tienen ya de más de 20 años dando muestras grandes resultados, por ejemplo (Pitta, 1994) en su estudio menciona que países como en Suecia, fueron introducidos a partir de 1984 y que se han utilizado pavimentos de CCR fundamentalmente en calles, plantas industriales, aeropuertos, minas, recintos militares, obteniéndose resultados favorables en lo que respecta a su apertura al tráfico después de 12 horas. En España las primeras aplicaciones del CCR datan de 1970, hasta 1990 habían sido ejecutados en España más de 4 millones de m<sup>2</sup> de pavimentos de CCR, siendo incluso este material una alternativa, dentro de los dimensionamientos de estructuras normalizadas oficiales que existen en ese país. En el continente americano el primer país en dar los primeros pasos fue Estados Unidos quienes estaban progresando lentamente en los años setenta con las presas de CCR, sólo una pequeña sección de pavimento de prueba de CCR fue instalada en la Estación Experimental de Vías Fluviales del Ejército de EE. UU., en Mississippi en 1975. Por otro lado, Brasil, Argentina, Uruguay y Chile son los que iniciaron trabajos experimentales de pavimentación por medio de CCR, en Brasil las primeras obras de importancia realizadas con CCR datan de 1972, en Porto Alegre, al sur del país; este material fue utilizado como base de pavimentos flexibles de vías urbanas. En Argentina ha sido usado desde 1986 en 13 tramos experimentales de diferentes longitudes construidos en diversas regiones del

país, experimentándose en diferentes climas, materiales y procesos constructivos, se ha utilizado el CCR como capa de rodamiento, base y como material para bacheo, en Uruguay en 1988 se ejecutó el primer tramo experimental, de aproximadamente 2.000 m<sup>2</sup>, de pavimentos de CCR en los accesos a Montevideo con la participación del Instituto de Cemento Portland de Argentina.,

A nivel de la región centro americana existen ya estudios y proyectos que van utilizando esta técnica, por ejemplo, un estudio en el 2004 de la Universidad de El Salvador de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura denominado Concreto Compactado con Pavimentadora Como Alternativa de Pavimentación para la Red Vial de El Salvador menciona que en ese país la técnica de CCR en El Salvador a través de la rehabilitación del tramo San Martín - San Rafael Cedros. La vía consta de 2 carriles por sentido y de longitud total de 21.5 Km., de los cuales 14.5 Km son de CCR y los restantes 7 Km son de mezcla asfáltico.

En el caso de Honduras y específicamente en el Distrito Central es importante destacar el avance de adaptación de nuevas técnicas como por ejemplo el White Topping que ha sido utilizada en algunos proyectos de la AMDC, no obstante no hay antecedentes ni registro de estudios del uso de la técnica CCR como alternativa de pavimentación, por eso es importante destacar que este estudio vendrá a dar un aporte en el contexto académico de poder usar y adaptar esta técnica para futuros proyectos de pavimentación vial del Distrito Central.

### **3. Objetivos.**

#### **3.1. Objetivo General.**

Analizar la factibilidad y viabilidad de la técnica de concreto compactado con rodillo (CCR) como una mezcla de pavimentación alternativa y sostenible al uso del concreto hidráulico tradicional en la ciudad de Tegucigalpa, honduras para el año 2021.

#### **3.2. Objetivos Específicos.**

- Describir el diseño de la mezcla del concreto compactado con rodillo (CCR).
- Determinar la factibilidad de la técnica de concreto compactado con rodillo (CCR) como una mezcla de pavimentación alternativa y sostenible al uso del concreto hidráulico tradicional en la ciudad de Tegucigalpa, honduras para el año 2021.

- Identificar la viabilidad del uso de la técnica de concreto compactado con rodillo (CCR) como una mezcla de pavimentación alternativa y sostenible al uso del concreto hidráulico tradicional en la ciudad de Tegucigalpa, honduras para el año 2021.

### 3.3. Pregunta de Investigación

1. ¿Cuáles son las características del uso de la técnica de concreto compactado con rodillo (CCR) como una mezcla de pavimentación alternativa y sostenible al uso del concreto hidráulico tradicional en la ciudad de Tegucigalpa, Honduras para el año 2021?
2. ¿Cuál es la técnica de concreto compactado con rodillo (CCR) una alternativa de una mezcla de pavimentación alternativa y sostenible al uso del concreto hidráulico tradicional en la ciudad de Tegucigalpa, Honduras para el año 2021?
3. ¿Cuál es la viabilidad del uso de la técnica de concreto compactado con rodillo (CCR) como una mezcla de pavimentación alternativa y sostenible al uso del concreto hidráulico tradicional en la ciudad de Tegucigalpa, Honduras para el año 2021?

## 4. Metodología

La metodología es el modo, forma, que selecciona un investigador para concretar un proyecto de investigación, El marco metodológico para Franco (2011) consiste en el conjunto de acciones destinadas a describir y analizar el fondo del problema planteado, a través de procedimientos específicos que incluye las técnicas de observación y recolección de datos, determinando el “cómo” se realizará el estudio. En el presente trabajo se ha realizado un análisis de datos.

La investigación se enfocó en el perfil *cuantitativo*, ya que ajusta a las intenciones y objetivos del trabajo, Hernández (2006) expresa: Los estudios cuantitativos siguen un patrón predecible y estructurando el proceso. En una investigación cuantitativa se pretende explicar y predecir los fenómenos investigados, buscando regularidades y relaciones causales entre elementos.



El alcance de la investigación es *descriptivo* este busca especificar propiedades y características importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población, es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas.

Es una investigación con *diseño no experimental* este tipo de investigación se basa en estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que sólo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos. La investigación no experimental es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlo. Aquí el interés se centra en “qué o quiénes”, es decir, en los participantes, objetos, sucesos o colectividades de estudio (las unidades de muestreo), lo cual depende del planteamiento y los alcances de la investigación. La unidad de análisis que se busca estudiar es la técnica de pavimentación conocida como concreto compactado con rodillo.

#### Operacionalización de la variables

<b>Objetivo</b>	<b>Variables</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Definición conceptual</b>
<i>Describir el diseño de la mezcla del concreto compactado con rodillo (CCR).</i>	Mezcla de CCR	Sistematizar en que se basa la mezcla de concreto compactado con rodillo.	Diagrama de proceso mezcla del concreto compactado con rodillo
<i>Determinar la factibilidad de la técnica de concreto compactado con rodillo (CCR) como una mezcla de pavimentación alternativa y sostenible al uso del concreto hidráulico tradicional en la ciudad de Tegucigalpa, Honduras para el año 2021.</i>	Factibilidad	Los recursos necesarios como herramientas (materiales y/o equipos), conocimientos (Pruebas de laboratorios), habilidades, experiencia, etc., que son necesarios para efectuar las actividades o procesos de a técnica del CCR.	El proceso, tipos de materiales, tipos de equipo y/o maquinaria y pruebas necesarias para el uso de la técnica CCR.
<i>Identificar la viabilidad del uso de la técnica de concreto compactado con rodillo (CCR) como una mezcla de pavimentación alternativa y sostenible al uso del concreto hidráulico tradicional en la ciudad de Tegucigalpa, Honduras para el año 2021.</i>	Viabilidad	Los costos y existencia de los recursos necesarios (materiales y/o equipos), conocimientos (Pruebas de laboratorios), habilidades, experiencia, etc., que son necesarios para efectuar las actividades o procesos de a técnica del CCR.	Determinar los costos pruebas de laboratorio, de materiales y renta de equipo para el uso del CCR

Fuente: Elaborado por los autores

## 5. Resultados

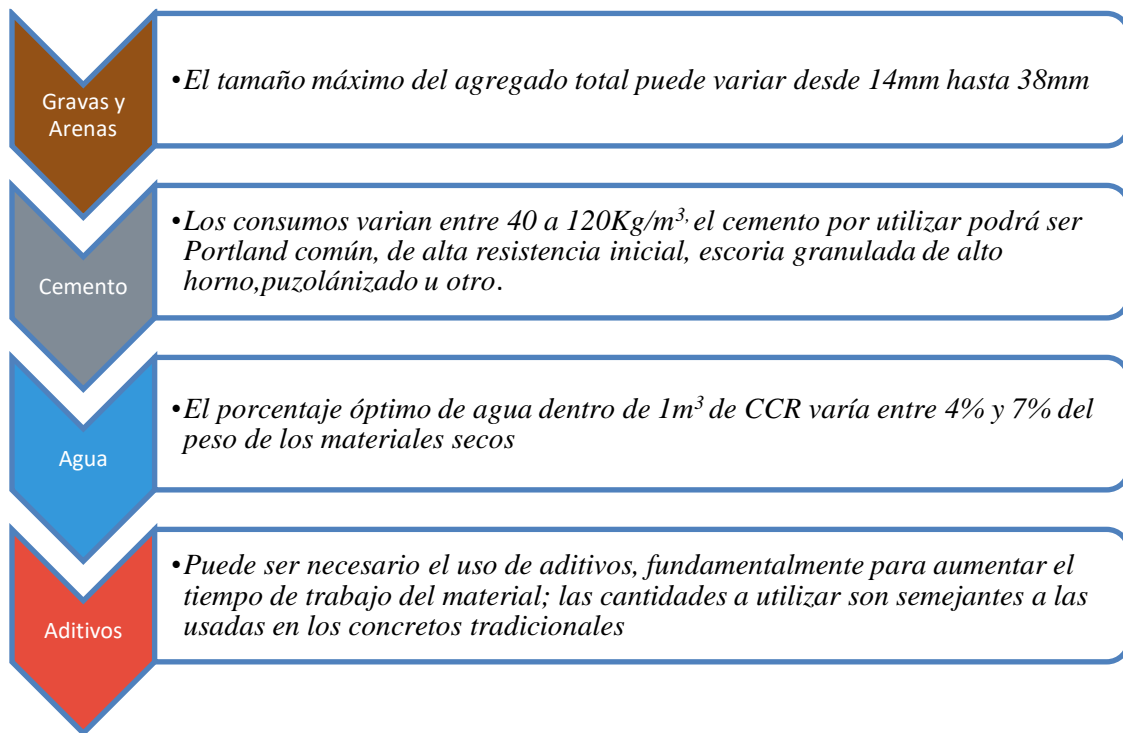
Los resultados se brindan conforme a la información de:

- Describir el diseño de la mezcla del concreto compactado con rodillo (CCR).
- Determinar la factibilidad de la técnica de concreto compactado con rodillo (CCR) como una mezcla de pavimentación alternativa y sostenible al uso del concreto hidráulico tradicional en la ciudad de Tegucigalpa, Honduras para el año 2021.

Identificar la viabilidad del uso de la técnica de concreto compactado con rodillo (CCR) como una mezcla de pavimentación alternativa y sostenible al uso del concreto hidráulico tradicional en la ciudad de Tegucigalpa, Honduras para el año 2021

### 5.1. Descripción del diseño de la mezcla del concreto compactado con rodillo (CCR).

Para el diseño de la mezcla se debe tener en primer lugar la selección y control de calidad de los materiales, para posteriormente diseñar la mezcla. De acuerdo con la literatura expuesta en el marco teórico y analizando y sistematizando la información se presenta lo siguiente: Las características principales de los materiales para su selección y finalmente la sistematización para el diseño de la mezcla, es la siguiente:





## **5.2. Determinación de la factibilidad de la técnica de concreto compactado con rodillo (CCR) como una mezcla de pavimentación alternativa y sostenible.**

La factibilidad son los recursos necesarios como herramientas (materiales y/o equipos), conocimientos (Pruebas de laboratorios), habilidades, experiencia, etc., que son necesarios para efectuar las actividades o procesos de a técnica del CCR.

El análisis de la factibilidad se determinará primero describiendo el proceso del CCR, luego identificando los componentes de equipo y procesos utilizados y finalmente concluir en un cuadro de equipo y existencia en el país.

El proceso del CCR está estructurado de la siguiente manera:

- Producción y transporte
- Distribución
- Compactación
- Control de calidad
- Curado y apertura al tráfico
- Juntas.

## **6. Resultados**

### **6.1. Descripción el diseño de la mezcla del concreto compactado con rodillo (CCR)**

El diseño de la mezcla de la técnica CCR inicia con la elección de los materiales los cuales deben de cumplir los requisitos básicos en el diseño de mezclas de concreto hidráulico, el cemento debe de ser portland común de alta resistencia sus consumos están entre los rangos de 40 a 120 Kg/m<sup>3</sup>, en el caso de los agregados arenas y gravas se establece un rango entre 14mm y 38 mm del tamaño. En el caso del agua es importante su porcentaje optimo ya que de esto depende en gran medida su porcentaje de humedad para luego obtener su compactación, el agua debe estar entre un 4% a 7% del peso seco de los materiales, finalmente el uso de aditivos dependerá mucho de las circunstancias en que se están trabajando, las cantidades utilizadas son iguales a las usadas en los concretos más utilizados lo cual brinda una ventaja por las experiencias y conocimientos ya establecidos. Luego de haber establecido los materiales se procede al diseño de la mezcla en este proceso se utilizan pruebas de laboratorio, en principio se determina la composición granulométrica de los agregados que mejor se encuadre en la banda granulométrica escogida, en porcentajes parciales de los materiales (por ejemplo: 35% de arena, 28% de grava tipo O y 27% de grava), seguidamente se fija el consumo de cemento con una ecuación que depende de los valores del

volumen de vacíos, humedad de los agregados, masa específica del cemento y la masa específica del agregado total.

Cuando se ha obtenido ese consumo de cemento se debe de obtener la humedad óptima determinada de gráficos del ensayo Proctor, ensayo que es muy común en los procesos de mecánica de suelos para estabilización y pavimentación con diferentes técnicas, luego de obtener la elección de materiales, el porcentaje de agua, el consumo de cemento y la humedad óptima se procede a confeccionar probetas para determinar las resistencias a los 7 y 28 días (según lo especifica el proyecto), finalmente con los resultados de las probetas y las resistencias se dibuja un gráfico de consumo y resistencia que permitan cumplir con los requisitos del proyecto. Es importante destacar que todo lo descrito en cada paso para la elección de materiales y diseño de mezcla son procedimientos que son similares a los procesos tradicionales de concreto hidráulico brindando muchas ventajas para la técnica del CCR. Determinación de la factibilidad de la técnica de concreto compactado con rodillo (CCR) como una mezcla de pavimentación alternativa y sostenible al uso del concreto hidráulico.

La factibilidad son los recursos necesarios como herramientas (materiales y/o equipos), conocimientos (Pruebas de laboratorios), habilidades, experiencia, etc., que son necesarios para efectuar las actividades o procesos de a técnica del CCR.

En el proceso de producción y transporte se considera la dimensión del proyecto indudablemente en proyectos donde se necesita una alta producción será necesario plantas que brinden esa producción que necesiten una alta ejecución de obra, en ese sentido en este análisis se considera una producción normal es por eso por lo que, en obras menores bien controladas, puede ser producido el CCR en volumen; el cemento siempre debe ser medido en masa (peso).

Otro aspecto para considerar en la etapa de transporte es el uso de camiones los que pueden variar su capacidad desde  $5\text{ m}^3$  a  $12\text{ m}^3$ , en caso de largas distancias de transportes, de tiempo lluvioso o caluroso y/o de existencia de viento, se debe proteger el CCR con toldos para evitar daños al material por exceso de agua o por pérdida de humedad.

En lo que respecta a la distribución el uso de equipo y de maquinaria se puede identificar 4 fases, primero con la motoniveladora puede ser usada cuando el CCR es utilizado como capa de base, donde no se requiere una terminación superficial exigente o, como revestimiento de pavimentos urbanos sometidos a tráfico liviano, en áreas de geometría difícil, seguidamente la distribuidora de agregados que puede ser utilizada tanto para la colocación de CCR para bases, como para revestimientos; permite mejores

terminaciones del material y facilita la distribución, luego se da un aspecto bien interesante es el uso de equipo para obras de concreto asfáltico, el equipo es un distribuidor de concreto asfáltico que puede ser utilizado ya sea en la colocación de bases y de revestimientos; tienen la ventaja de proporcionar una buena terminación superficial y una pre-compactación del CCR (del orden 90% a 92% del grado de compactación medido en la energía modificada y para finalizar se necesita una vibro compactadora este equipo se han desarrollado con la finalidad específica de distribuir y compactar el CCR con un alto grado de pre-compactación; según los fabricantes se puede alcanzar del orden del 98% del grado de compactación de la energía modificada.

En el proceso de compactación lo importante es el compactarlo hasta alcanzar el grado de compactación requerido en los diseños del CCR, respecto a los equipos de acuerdo con la importancia de la obra y a los grados de compactación que se desea alcanzar, pueden ser utilizados los rodillos lisos, rodillos vibratorios de diferentes tamaños, rodillos mixtos (lisos-neumáticos), el número de pasadas necesarias para alcanzar la compactación deseada puede ser determinado con la ejecución previa de un pequeño tramo experimental, el que puede ser realizado directamente en la pista y que servirá, además, para calibrar la central, el transporte del material, el método constructivo, etc. En caso de que el CCR del tramo cumpla con los requisitos del pavimento, este puede ser aprovechado como tal.

Ya en la etapa del control de calidad es importante tener en cuenta los parámetros de diseño que se verán reflejado luego de la ejecución y el control de los procesos constructivos, los estudios previos de laboratorio y la ejecución de un tramo experimental permitirán conocer las tolerancias de trabajo y control de los diferentes componentes del CCR. Algunas veces, de acuerdo con el equipo utilizado en la obra, no es posible lograr las terminaciones requeridas, por lo cual se debe modificar la mezcla, sea variando las composiciones granulométricas, disminuyendo el tamaño máximo, en el caso particular de la obtención del grado de compactación se apoyan en una serie de pruebas y procesos como ser: el método del frasco de arena, luego el densímetro nuclear equipo utilizado con mayor éxito en terreno para la medida del grado de compactación, luego para el control efectivo se realizará a través de probetas ensayadas a la ruptura en edades especificadas y se debe antes de colocado en la pista, controlar el grado de compactación de la base y la humedad de ésta.

El curado es realizado por cualquier método que garantice el mantenimiento del agua dentro del material; pueden ser utilizados: agua, diques de arena húmeda, aspilleras, membranas de curado, riegos bituminosos, se realiza fundamentalmente para garantizar que se alcancen las resistencias mecánicas deseadas y la durabilidad de proyecto, posteriormente la apertura al tráfico se puede efectuar después de la colocación de un riego asfáltico, con el mayor pH posible para no atacar el cemento, en proporción cercana a los 600 g/m<sup>2</sup> y colocando posteriormente una capa de arena en cantidad de 4m<sup>2</sup> a 611 m<sup>2</sup>.

En resumen, la factibilidad para el uso de la técnica del CCR se puede afirmar que existe los materiales (grava, arena, cemento y aditivos), equipos (camiones, motoniveladoras, distribuidora de asfalto y vibro compactadoras) y laboratorios especializados en pruebas de: Granulométrica en Agregados y en Plasticidad, Proctor standard T-99 y modificado T-180, Densidad cono de arena, Densidad densímetro nuclear y compresión de cilindros de concreto para el diseño de la mezcla del CCR y el control de calidad de trabajo realizado.

Identificación de la viabilidad del uso de la técnica de concreto compactado con rodillo (CCR) como una mezcla de pavimentación alternativa y sostenible al uso del concreto hidráulico, la viabilidad son los costos de los recursos necesarios (materiales y/o equipos), conocimientos (Pruebas de laboratorios), habilidades, experiencia, etc., que son necesarios para efectuar las actividades o procesos de diseño de la técnica del CCR.

Para identificar la viabilidad se analiza en primer lugar la revisión de los proyectos de pavimentación que realiza la AMDC, cuales técnicas y los montos, en ese sentido se encontró que desde el año 2016 al 2021 se han realizado 49 proyectos de pavimentación y rehabilitación de calles en diferentes zonas de Tegucigalpa con un monto total de inversión de L 107,327,710.73.

Las técnicas utilizadas son el de rehabilitación y bacheo con mezcla asfáltica (6), Conformación y balastado (5), mejoramiento y reacondicionamiento de calles con adoquín (2), pavimentación de calle con concreto hidráulico (36) de esos 24, 2 son con la técnica de White Topping.

De forma más específica se observó que en el caso de los proyectos de rehabilitación y bacheo con mezcla asfáltica se han ejecutado 6 proyectos de los cuales 4 se ejecutaron en el 2016, uno en el 2020 y uno en el 2021, el monto total de los 6 proyectos es de L9,524,831.69.

Los trabajos de conformación y balastado se ejecutaron 5 proyectos de los cuales 4 se ejecutaron en el 2016 y uno en el 2018, el monto total de todos los proyectos es de L26,898,952.82, los trabajos de mejoramiento y reacondicionamiento de calles con adoquín se ejecutaron 2 en el 2016 y su monto haciende a L3,948,096.17.

Finalmente, los trabajos de pavimentación de calle con concreto hidráulico se han ejecutado 36, 24 se ejecutaron en el 2016, 3 en el 2017, 4 en el 2018, uno en el 2020 y 4 en el 2021, el monto total de todos los proyectos es de L66,955,830.05, como detalle importante es que existen dos proyectos que utilizaron la técnica de pavimentación con White Topping.

- La viabilidad de los costos para la técnica del CCR se tomó como base los precios de la revista de la CHICO I edición 2021 y cotización de pruebas de laboratorio.
- Costos de los materiales para el diseño de la mezcla son los siguientes:
- Grava el costo es 520 L/ m<sup>3</sup> (Sin incluir el flete)
- Arena el costo es 480 L/m<sup>3</sup> (Sin incluir el flete)
- Cemento el costo es 198 L/Bolsa (cemento portland común de alta resistencia consumos entre los rangos de 40 a 120 Kg/m<sup>3</sup>)
- Agua el costo es de 136 L/ m<sup>3</sup>
- Aditivos los costos van a variar dependiendo la marca o el tipo de aditivo y están entre un rango de 250-850 L/ Galón (el uso de aditivos dependerá mucho de las circunstancias en que se están trabajando).

Es importante destacar que para poder determinar cantidad de materiales y sacar rendimientos y costos esto dependerá mucho en primer lugar de los resultados de las pruebas de laboratorio que estarán en función de las condiciones del proyecto y segundo de la cantidad de pruebas que se realizaran en campo, para las pruebas de laboratorio se identifican los siguientes costos:

- Granulometría en agregados L 460 y Granulometría en plasticidad L 575
- Proctor Standard T-99 L 460 y Proctor modificado T-180 L 575
- Densidad cono de arena L 410
- Densidad densímetro nuclear L 460
- Compresión de cilindros de concreto L 230

En la etapa de transporte es el uso de camiones los que pueden variar de  $5\text{m}^3$  a  $12\text{m}^3$  de la capacidad, en la distribución, primero con la motoniveladora, seguidamente la distribuidora de agregados, luego el distribuidor de concreto asfáltico, la vibro-compactadoras con los rodillos lisos, rodillos vibratorios - de diferentes tamaños - rodillos mixtos (lisos-neumáticos)

- Volqueta de  $10\text{ m}^3$  820 L/Hr
- Volqueta  $5\text{ m}^3$  590 L/ Hr
- Motoniveladora de 125 HP 1650 L/ Hr
- Motoniveladora de 135- 165 HP 1750 L/ Hr
- Regador de asfalto Ford-Etnyre 1330 L/ Hr
- Compactadora de rodillo vibratoria de 10 a 12 ton tipo I.R.S.D 100 D 1200 L/ Hr
- Compactadora de rodillo vibratoria de 7 ton tipo J.R.S.D 70 1000 L/ Hr
- Compactadora vibratoria W 85 vibro máx. 1300 L / Dia
- Compactadora vibratoria manual 780 L/ Hr

En resumen, sobre la viabilidad de los costos al uso de la técnica del CCR se considera que existe una alta oportunidad para su uso, según los datos de los proyectos ejecutados en la AMDC desde el 2016 al 2021 son 49 de esos el de mayor cantidad es el de ejecución de pavimentación de concreto hidráulico con 36 proyectos, los montos de estos proyectos suman L66,955,830.05 evidenciando una alta inversión de proyectos con uso de concreto hidráulico y dando una alta viabilidad para el uso de la técnica del CCR.

De igual forma en el proceso constructivo, uso de materiales, uso de equipos y maquinarias y uso de pruebas de laboratorio de la técnica del CCR se observa que son bien parecidos en el uso del pavimento con concreto hidráulico, de esta manera los costos y rendimientos son parecidos y no involucra mayor inversión para el uso.

Por último, considerando que las técnicas utilizadas en los proyectos de la AMDC de rehabilitación y bacheo con mezcla asfáltica, conformación y balastado, mejoramiento y reacondicionamiento de calles con adoquín, pavimentación de calle con concreto hidráulico y la técnica de White Topping son procesos que por tiempos se han utilizado en las calles de Tegucigalpa sin tener certeza de soluciones sustentables y sostenibles la técnica del CCR tiene muchas ventajas como ser:

- El CCR se produce y coloca utilizando equipos comunes y de amplia existencia dentro de las empresas constructoras de Tegucigalpa.
- Los pavimentos de CCR son una tecnología que envuelve el uso de materiales y equipos de construcción convencionales en una aplicación no convencional, el resultado es una economía de tiempo en la construcción del pavimento, lo que influye significativamente en los costos de éste.
- En el caso de obras menores sometidas a tráficos livianos, el CCR puede ser colocado con la maquinaria tradicional utilizada en movimiento de tierras, (motoniveladora, rodillo vibratorio y rodillo neumático).
- En el caso de obras mayores, donde el tráfico sea medio y se requiera una buena terminación superficial, el equipo utilizado puede ser el comúnmente usado en obras de pavimentación asfáltica (finisher, rodillo vibratorio y rodillo neumático).
- Alta capacidad de soporte inicial, lo que le permite al pavimento ser liberado al tráfico después de su terminación. (Permite apertura rápida al tráfico ligero 24 horas después de su colocación)
- Se cura con agua, emulsión asfáltica o compuesto de curado.
- Alto volumen de producción, alta resistencia y durabilidad, alta capacidad de carga y deformación mínima de la superficie.

## 7. Conclusiones

- En términos de los materiales utilizados en la técnica del CCR, las gravas y arenas deben tener un tamaño máximo que puede variar desde 14mm hasta 38 mm, el consumo del cemento puede variar entre 40 a 120 Kg/m<sup>3</sup>, El cemento por utilizar podrá ser Portland común, de alta resistencia inicial, escoria granulada de alto horno, puzolánico u otro, el porcentaje óptimo de agua dentro de un metro cúbico de CCR varía entre 4% y 7% del peso de los materiales secos y en el caso de los aditivos, puede ser necesario su uso fundamentalmente para aumentar el tiempo de trabajo del material; las cantidades a utilizar son semejantes a las usadas en los concretos tradicionales.



- Para el diseño de la mezcla utilizado en la técnica del CCR primero se debe de obtener la composición granulométrica, luego fijar un consumo cemento en  $\text{Kg/m}^3$  “C” mediante una ecuación que depende del volumen de vacíos en litros “V”, cantidad de agregados total por cantidad de cemento (en masa) “X”, masa específica del cemento “Mec” y la masa específica del agregado “MEagt”, seguidamente se debe de calcular la humedad optima a través de las pruebas de Proctor, luego se elaboran las probetas para la evaluación de la resistencia mecánica y finalmente se obtiene el grafico de consumo – resistencia donde se determina el consumo de cemento según las características del proyecto.
- En términos de la factibilidad del uso de la técnica del CCR son los recursos necesarios como las herramientas (materiales y/o equipos), los conocimientos (Pruebas de laboratorios), habilidades y experiencias. En el caso de las habilidades y experiencia se tiene que el proceso de la técnica del CCR es producción y transporte, la distribución, el proceso de compactación, el control de calidad, el curado y apertura al tráfico y si es necesario la construcción de juntas.
- Los equipos más utilizados en el proceso de construcción de la técnica del CCR son Camiones de 5 a 12 m<sup>3</sup>, Distribuidora de agregados, motoniveladora, distribuidora de concreto asfáltico, vibro compactadoras (rodillos lisos, rodillos vibratorios).
- En términos de las pruebas de laboratorio para el diseño y control de calidad de la de la ejecución de la técnica del CCR las más utilizadas son la granulométrica en agregados y en plasticidad, las pruebas Proctor Standard T-99 y Modificado T-180, la densidad cono de arena, la densidad densímetro nuclear y la compresión de cilindros de concreto.
- En términos de viabilidad para el uso de la técnica del CCR se encuentra que entre los proyectos ejecutados por la AMDC entre el 2016 y el 2021 se han ejecutado 49 proyectos distribuidos en diferentes técnicas y procesos como ser de rehabilitación y bacheo con mezcla asfáltica (6), Conformación y balastado (5), mejoramiento y reacondicionamiento

- de calles con adoquín (2), pavimentación de calle con concreto hidráulico (36) de esos 36, 2 son con la técnica de White Topping, el monto total de los 49 proyectos es de L 107,327,710.73
- De forma directa y considerando que la técnica del CCR puede ser una alternativa para el uso de los trabajos de pavimentación de calle con concreto hidráulico se han ejecutado 36, 24 se ejecutaron en el 2016, 3 en el 2017, 4 en el 2018, uno en el 2020 y 4 en el 2021, el monto total de todos los proyectos es de L66,955,830.05, como detalle importante es que existen dos proyectos que utilizaron la técnica de pavimentación con White Topping.
  - Las ventajas de usar la técnica del CCR entre las más importantes son que el CCR se produce y coloca utilizando equipos comunes y de amplia existencia dentro de las empresas constructoras de Tegucigalpa, son una tecnología que envuelve el uso de materiales y equipos de construcción convencionales en una aplicación no convencional, el resultado es una economía de tiempo en la construcción del pavimento, lo que influye significativamente en los costos de éste, en el caso de obras menores sometidas a tráfico livianos, el CCR puede ser colocado con la maquinaria tradicional utilizada en movimiento de tierras, (motoniveladora, rodillo vibratorio y rodillo neumático), en el caso de obras mayores, donde el tráfico sea medio y se requiera una buena terminación superficial, el equipo utilizado puede ser el comúnmente usado en obras de pavimentación asfáltica (finisher, rodillo vibratorio y rodillo neumático), por su alta capacidad de soporte inicial, lo que le permite al pavimento ser liberado al tráfico después de su terminación. (Permite apertura rápida al tráfico ligero 24 horas después de su colocación).
  - Se puede concluir que la técnica del CCR es factible y viable como una mezcla de pavimentación alternativa y sostenible al uso del concreto hidráulico tradicional en la ciudad de Tegucigalpa, Honduras para el año 2021.

## 8. Recomendaciones

- Se recomienda ampliar los estudios de investigación de la técnica del CCR para poder obtener más información sobre el diseño de las mezclas y las características de las zonas del proyecto.
- Es importante tener estudios de proyectos que se ejecuten en otras ciudades para poder determinar el uso de la técnica del CCR y conocer si es factible y viable su uso.
- Se deben de tener diseños de mezcla de la técnica CCR para determinar consumos de cemento y determinar rendimientos y costos para futuros proyectos.
- Se recomienda a las clases en UPI incorporar técnicas de pavimentación que se están utilizando en otros países de manera de tener mayores conocimientos en el uso de procesos constructivos que sean adaptables a nuestro país.

## 9. Bibliografía

- ASOCAM, I. (2007). Políticas públicas para la promoción del desarrollo económico territorial.
- Aznar-Bellever, J., & et. al. (2012). *Valoración Inmobiliaria. Métodos y aplicaciones*. Valencia, España: Editorial Universitat Politècnica de València.
- BCH. (2011-2018). *Honduras en Cifras*.
- BM. (Mayo de 2020). *Indicadores del Banco Mundial*. Obtenido de <https://datos.bancomundial.org/indicador>
- Bowles, S. (2004). *Microeconomía Comportamiento, Instituciones y Evolución*. Princeton University Press.
- Caballer, V. (Octubre 2002). Nuevas tendencias en la valoración territorial. *Catastro CT*, 135-145.
- Caballero, E. (2014). *Sistema y Jerarquía urbana en Honduras, desde la Colonia hasta la primera mitad del siglo XX*. Tegucigalpa: Guaymuras. doi: ISBN: 978-99926-54-45-3
- CEPAL. (2020). *Informe sobre Impacto Económico en América Latina y el Caribe de la enfermedad por Coronavirus (COVID-19)*.
- Coase, R. (1937). "La naturaleza de la empresa", en O. E. Williamson y S. G. Winter (comps.), *La naturaleza de la empresa. Orígenes, evolución y desarrollo*,. México,.
- Cruz, L. A. (2010). *Historia y Actualidad del Catastro en Honduras*. Tegucigalpa: Revista Postgrados UNAH.
- Cruz, P. J. (2010). *Manual de Valores Catastrales No. 1 Series Procesos Administrativos de Catastro*. Tegucigalpa, Distrito Central, Honduras,: Programa Fortalecimiento del Régimen Municipal y el Desarrollo Local en Honduras.
- Enriquez, A. (2008). *Hacia una Delimitación conceptual del desarrollo regional/local*.
- Erba, J. L. (2017). *El catastro territorial en República de Honduras*. UNAH: Departamento de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica, DCTIG.
- Feás, E. (15 de Septiembre de 2020). *Riqueza, Inmobiliaria, ciudades y Desigualdad*. Obtenido de <http://agendapublica.elpais.com/>: <http://agendapublica.elpais.com/riqueza-inmobiliaria-ciudades-desigualdad/>
- Godínez, R. (2009). *Breve Diccionario del Turismo*. Zapopan, Jalisco: Umbral.
- Hodgson, G. (2007.). *Economía institucional y evolutiva contemporánea*,. México,: UAM, .
- IHT/SETUR. (2006). *Estrategia Nacional de Desarrollo Sostenible del Sector Turismo en Honduras*.
- IHT/SETUR. (2014). *Boletín de Estadísticas de Turismo*.
- Industria y Comercio Superintendencia. (15 de Septiembre de 2020). <https://www.sic.gov.co>. Obtenido de <https://www.sic.gov.co>: [https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Nuestra\\_Entidad/Publicaciones/CARTILLA\\_AVALUADORES-VERSION\\_30\\_OCT.pdf](https://www.sic.gov.co/sites/default/files/files/Nuestra_Entidad/Publicaciones/CARTILLA_AVALUADORES-VERSION_30_OCT.pdf)
- INE. (2018). *Estadísticas Turísticas de Honduras 2011-2016*.
- Introducción a la Economía*. (2012). Facultad de Ciencias Económicas y de Administración.

- Ley de OT. (2003). *Ley de Ordenamiento Territorial*. Tegucigalpa, Honduras: Congreso Nacional de la República de Honduras.
- Lima, c. J. (2020). *PROCEDIMIENTO TÉCNICO JURÍDICO PARA LA CERTIFICACIÓN COMO VALUADOR AUTORIZADO POR LA DIRECCION DE CATASTRO Y AVLÚO DE BIENES INMUEBLES DICABI*. GUATEMALA: UNIVERSIDAD MARIANO GALVEZ.
- Massiris, A. (Septiembre de 15 de 2002). *Ordenamiento del Territorio en América Latina*. Obtenido de Revista Electrónica de geografía y Ciencias Sociales: <http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-125.htm>
- Nelson, R. y. ( 2002). Nelson, Richard y Sidney Winter. En "*Evolutionary theorizing in economics*" *The Journal of Economic Perspectives*, vol. 16, núm. 2, (págs. pp. 23-46.).
- OMS. (14 de Junio de 2020). *Página Oficial de la OMS*. Obtenido de <https://www.who.int/es/emergencias/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/q-a-coronaviruses>
- OMT. (2020a). *World Tourism Barometer and Statistical Annex*.
- OMT. (2020b). *Barómetro del Turismo Mundial. Con especial enfoque en el impacto de la COVID 19*.
- Paz, K. D. (2018). *365 respuestas del Mundo Forense*. Panama: Seguridad y Defensa Corporativa.
- Porter, M. (2006). *Estrategias y Ventaja competitiva*. Barcelona, España: Ediciones Deusto.
- RAE. (2017). *Diccionario de la lengua española*. (23.ª edición). Madrid: Espasa. ISBN 978-84-670-4189-7.
- Rivera, E. (2018). *Apuntes de Clases de Microeconomía, ICES Doctor Eleazar Rivera* . Somoto: ICES.
- Superintendencia del Sistema Financiero. (15 de septiembre de 2020). <https://ssf.gob.sv>. Obtenido de <https://ssf.gob.sv>: <https://ssf.gob.sv/peritos-valuadores/>
- UNID. (2005). *Microeconomía*. UNID.
- Valencia, J. J. (2006). *Aplicaciones Informáticas para el Registro y Catastro: Experiencias Centroamericanas. Primer Seminario Nacional de Catastro y Geomática*. Tegucigalpa: "Información, Propiedad y Desarrollo".
- WTTC. (2020). *Economic Impact Reports*. Obtenido de <https://wttc.org/Research/Economic-Impact>