



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
CENTRO DE POSGRADOS**

MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO DE
PAVIMENTOS RÍGIDOS QUE OPTIMICEN EL DESEMPEÑO DE VÍAS
URBANAS**

AUTOR: ANDRÉS ENRIQUE CHAMAIDÁN GÓMEZ

**MACHALA
2022**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA
CENTRO DE POSGRADOS
MAESTRIA EN INGENIERIA CIVIL**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO DE
PAVIMENTOS RÍGIDOS QUE OPTIMICEN EL DESEMPEÑO DE VÍAS
URBANAS**

AUTOR: ANDRÉS ENRIQUE CHAMAIDÁN GÓMEZ

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE
MAGISTER EN INGENIERIA CIVIL, MENCIÓN VIALIDAD**

TUTOR: ING. LEYDEN CARRIÓN ROMERO

**MACHALA
2022**

PENSAMIENTO

“La educación es el pasaporte hacia el futuro, el mañana pertenece a aquellos que se preparan para él en el día de hoy”.

Malcolm X

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo a mis padres Enrique y Miriam, por todo su apoyo, cariño y amor incondicional, por siempre haber creído en mí. Por su paciencia y sus consejos durante esta etapa y a lo largo de mi vida.

A mis hermanas Alexandra y Johanna, por su cariño y amor, por sus consejos y cuidados durante mi vida.

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Los contenidos, ideas, criterios, análisis, conclusiones y propuestas emitidos en este informe de investigación titulado “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS QUE OPTIMICEN EL DESEMPEÑO DE VÍAS URBANAS”, son de exclusiva responsabilidad del autor.



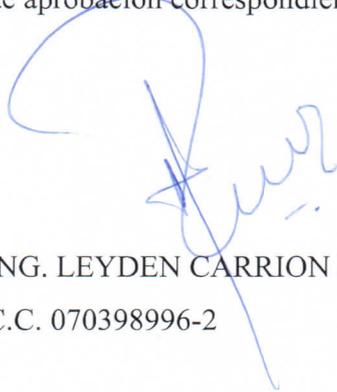
ANDRES ENRIQUE CHAMAIDÁN GÓMEZ

C.I. 070527511-3

Machala, 2022/12/06

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor del trabajo de titulación “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS QUE OPTIMICEN EL DESEMPEÑO DE VIAS URBANAS” elaborado por el Ing. Andrés Enrique Chamaidán Gómez, considero que ha sido realizado con prolijidad, fundamentación teórica y técnica, y, de acuerdo a los requisitos exigidos por la organización del Programa de Maestría en Ingeniería Civil, mención Vialidad, por lo que autorizo su presentación antes las instancias de aprobación correspondientes.



ING. LEYDEN CARRION ROMERO

C.C. 070398996-2

Machala, 2022/12/06

HOJA DE PLAGIO

CESION DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Ing. Andrés Enrique Chamaidán Gómez, con cédula de ciudadanía No. 0705275113, manifiesto en forma libre y voluntaria, ceder a la Universidad Técnica de Machala, los derechos de autor, consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual, artículo 4, 5 y 6 en calidad de autora del trabajo de titulación denominado “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS QUE OPTIMICEN EL DESEMPEÑO DE VÍAS URBANAS”, que ha sido desarrollado para optar por el título de Magister en Ingeniería Civil, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada, en concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en el formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica de Machala.



ANDRÉS ENRIQUE CHAMAIDÁN GÓMEZ

C.I. 070527511-3

Machala, 2022/12/06

RESUMEN

Los altos costos de construcción y mantenimiento de vías, acompañado del incremento anual del parque automotor genera la necesidad de contar con corredores viales que permitan una cómoda transitabilidad a los usuarios, e impone el desafío de crear nuevas alternativas para la construcción de pavimentos. De esa necesidad se han desarrollado nuevas metodologías de diseño como la TCP Paviments (losas de hormigón de geometría optimizada), misma que rompe con los paradigmas de diseño tradicional. En esta metodología, el tamaño de losas se diseña de manera que un solo set de ruedas del vehículo quede sobre ella, disminuyendo drásticamente las tensiones soportadas por la losa y permitiendo disminuir el espesor de la misma, haciendo posible construir carreteras de pavimento rígido amigables con el medio ambiente y de bajo costo, sin por esto sacrificar el confort, la durabilidad y la funcionalidad de la carretera. En esta investigación se estudió como caso particular el diseño de la Avenida Luis Ángel León Román de la ciudad de Machala, en donde se realizaron los análisis de estructura de pavimento utilizando la metodología AASHTO 1993 (American Association of State Highway and Transportation Officials), metodología empírica del diseño de pavimento, con la que se desarrolló el MOP-001-F-2002 “Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes” normativa vigente en el Ecuador, para la construcción y el diseño de carreteras, y se comparará este diseño utilizando la metodología TCP Paviments, para así contrastarlas en razón de su funcionabilidad y optimización de recursos para determinar que metodología de diseño representa un mejor beneficio costo/calidad para utilizarse en diferentes vías urbanas del país.

Palabras claves:

Diseño de pavimentos, losas cortas, losas de geometría optimizada, pavimentos rígidos, Optimización de Hormigón, Metodología TCP Paviments.

ABSTRACT

The high costs of construction and maintenance of roads, accompanied by the annual increase in the number of vehicles, generates the need to have road corridors that allow easy transit for users, and imposes the challenge of creating new alternatives for the construction of pavements. From this need, new design methodologies have been developed, such as TCP Pavements (concrete slabs with optimized geometry), which breaks with traditional design paradigms. In this methodology, the size of the slabs is designed so that only one set of vehicle wheels rests on it, drastically reducing the stresses supported by the slab and allowing its thickness to be reduced, making it possible to build friendly rigid pavement roads. environmentally friendly and low cost, without sacrificing comfort, durability and road functionality. In this investigation, the design of Luis Ángel León Román Avenue in the city of Machala was studied as a particular case, where pavement structure analyzes were carried out using the AASHTO 1993 methodology (American Association of State Highway and Transportation Officials), methodology empirical study of pavement design, with which the MOP-001-F-2002 "General Specifications for the Construction of Roads and Bridges" was developed, current regulations in Ecuador, for the construction and design of highways, and this design will be compared using the TCP Pavements methodology, in order to compare them based on their functionality and optimization of resources to determine which design methodology represents a better cost/quality benefit to be used in different urban roads in the country.

Keywords:

Pavement design, short slabs, optimized geometry slabs, rigid pavements, Concrete Optimization, TCP Pavements Methodology.

INDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN	16
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
Objetivo General:	18
Objetivos Específicos:.....	18
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	19
IDEAS A DEFENDER	19
CAPITULO I. MARCO TEÓRICO	20
1.1 Antecedentes	20
1.1.1 Antecedentes Históricos	20
1.1.2 Antecedentes Conceptuales y Referenciales	23
1.1.3 Antecedentes Contextuales.....	28
1.2 Métodos para la Construcción de Carreteras	30
1.2.1 Método ASSHTO 1993	30
1.2.2 Metodología de Losas Cortas o de Geometría Optimizada (TCP Paviments)	34
CAPITULO II. METODOLOGÍA.....	37
2.1 Modalidad de la Investigación	37
2.1.1 Enfoque.....	37
2.1.2 Paradigma	37
2.2 Nivel o Tipo de Investigación	37
2.2.1 Tipo Exploratorio	37
2.2.2 Tipo Descriptivo	37
2.3 Población y Muestra.....	38

2.3.1 Población	38
2.3.2 Muestra	38
2.4 Métodos con los Materiales Utilizados	39
2.4.1 Método Teórico	39
2.4.2 Método Empírico	39
2.5 Operación de Variables	40
2.5.1 Variable Dependiente	40
2.5.2 Variable Independiente.....	40
2.6 Plan de Recolección de la Información.....	42
2.7 Plan de Procesamiento de la Información.....	42
3. RESULTADOS	43
3.1 METODOLOGIA A.A.S.H.T.O. 1993	43
3.2 METODOLOGIA TCP PAVIMENTS	44
4 DISCUSION DE LOS RESULTADOS.....	47
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	52

INDICE DE FIGURAS

Figura No. 1: Esquema del comportamiento de pavimentos.....	25
Figura No. 2: Comparación entre la dimensión y espesor de losas para tensiones máximas equivalentes en la superficie	34

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración No 01: Resultados AASHTO 1993.....	45
Ilustración No 02: Resultados TCP Paviments.....	46
Ilustración No 03: Costo Total AASHTO 1993 vs TCP Paviments.....	46

INDICE DE TABLAS

Tabla No 01: Variables a considerarse en el Método ASSHTO 1993.....	33
Tabla No. 2: Variables a considerarse en el Método TCP Paviments.....	35
Tabla No. 3: Resultados Método AASHTO 1993.....	42
Tabla No. 4: Umbrales Máximos de Diseño, Metodología TCP Paviments	44
Tabla No. 5: Resultados de Diseño Metodología TCP Paviments	44
Tabla No. 6: Resultados por metro cuadrado AASHTO 1993.....	45
Tabla No. 7: Resultados por metro cuadrado TCP Paviments.....	45

ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS METODOLOGÍAS PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS RÍGIDOS QUE OPTIMICEN EL DESEMPEÑO DE VÍAS URBANAS

INTRODUCCIÓN

La necesidad de movilizarse de una población en factores de espacio y tiempo están asociadas por la demanda del transporte, que han sido determinadas por el desarrollo socioeconómico y las actividades urbanas; impuestas por las actividades de la comunidad y el uso del suelo, incluyendo de esta manera el estudio del urbanismo y la planificación del transporte público y privado (Historia de las carreteras, 2012).

Una de las preocupaciones más importantes de la planificación urbana es garantizar que la infraestructura cubra la necesidad de desplazamiento de los habitantes de una determinada comunidad, donde existen cantidades elevadas de motorización que provocan altos índices de congestión vehicular (Historia de las carreteras, 2012).

Actualmente, el crecimiento de la red vial se observa a mayor escala en pequeñas y grandes ciudades, debido a la necesidad de la población de movilizarse con seguridad, calidad y comodidad (Pucha Aguinosa and Zárate Torres, 2020).

La importancia de las vías internacionales y locales, es necesario realizar estudios, evaluaciones y planificaciones correctas, en el momento de su diseño, construcción, mejoramiento o reconstrucción de la estructura existente y, de la misma manera gestionar un adecuado mantenimiento vial. Para lo cual, es necesario recopilar datos reales y confiables que permitan actuar de manera correcta (Pucha Aguinosa and Zárate Torres, 2020).

Realizar una evaluación de las carreteras implica evaluarlas técnicamente, funcionalmente y estructuralmente. En la evaluación funcional se considera la superficie del pavimento, la cual determina las actividades de mantenimiento que se deben ejecutar superficialmente, tal como bacheos, parchados, tratamiento de fisuras y sellados. Además, da indicios para encontrar

una solución estructural de acuerdo con la magnitud y tipo de falla (Thenoux and Gaete, 2022).

La evaluación estructural del pavimento, se basa en la realización de recapeos, cambio y repotenciación del paquete estructural o base granular (Saad et al., 2016).

Uno de los pilares primordiales de la infraestructura de las ciudades es la red vial urbana, por lo que la calidad de las carreteras es un aspecto fundamental. El diseño de la vía es la primera fase de la vida de la estructura del pavimento, por lo mismo, la durabilidad de esta se determinará en función de su diseño (Trillo, 2015).

Las estructuras de pavimentos están sometidas a la influencia de un gran número de variables, de las cuales algunas se conocen y otras resultan desconocidas. Los pavimentos de concreto son losas que tienen gran capacidad para soportar las cargas y transmitir al suelo unas presiones de contacto muy bajas, por lo que hay que dedicar plena atención en que las losas se encuentren bien diseñadas y correctamente construidas (Londoño, 2022).

En el momento que se comenzaron a construir pavimentos de concreto existen dudas sobre su funcionamiento y posibilidades de establecer métodos que determinen el espesor y calidad de las capas que lo constituyen (Londoño, 2022).

Existen varios métodos que se originan en aproximaciones teóricas y en evaluaciones de pavimentos existentes que permiten deducir el comportamiento de los mismos a través del tiempo (Londoño, 2022). Algunos de los métodos utilizados que se conocen a nivel mundial son: el Método de Losas Cortas en Pavimento y, el método de la ASSHTO, que quiere decir American Association of State Highway and Transportation Officials.

El método de losas cortas o losas de geometría optimizada, han innovado el área constructiva de pavimentos de hormigón, que implica un cambio con respecto al diseño y construcción del mismo, donde por lo general se limitaban el número de juntas. En el caso de considerar un espesor mayor al necesario, el pavimento se comportará bien y no sería prescindible un

gran costo en el mantenimiento; pero el costo inicial sería muy elevado (Chaparro Maldonado & Pradena Miquel, 2019).

El método ASSHTO 1993 publicado por “Guide for Design of Pavement Structures”, se incluyen parámetro de diseño como el drenaje, las bermas y la erosionabilidad de la base, logrando de esta manera incorporar la mayor cantidad posible de variables en el diseño de pavimentos (Londoño, 2022).

El método ASSHTO relaciona empíricamente el espesor del pavimento, las magnitudes de las cargas, los tipos de ejes, números de aplicaciones de carga y pérdida de serviciabilidad para condiciones específicas de materiales y medio ambiente en que se realizan los ensayos (Caporal, 2017).

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General:

- Comparar que metodología para el diseño de pavimentos rígidos es más eficiente, mediante la aplicación de criterios que optimicen el desempeño de vías urbanas, con el fin de que permitan la reducción de los costos de construcción utilizando las mismas variables de diseño.

Objetivos Específicos:

- Identificar las metodologías de diseño de pavimentos que optimice la construcción de vías urbanas.
- Comparar las Tecnología tradicional (ASSHTO 1993) y la metodología TCP Paviments en función de la optimización de recursos en la construcción de la Avenida Luis Ángel León Román, Machala.
- Elaborar un informe del análisis comparativo de las metodologías para el diseño de pavimentos rígidos que optimicen el desempeño de vías urbanas.

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

El alto costo de las carreteras de pavimento rígido, es una limitante grande para la construcción de este tipo de pavimentos viales, por lo que en nuestro medio es común ver que la gran mayoría de vías tanto rurales como urbanas, sean de pavimento flexible. Es por esto que, ha existido la necesidad de optimizar los diseños de pavimentos rígidos para que su costo de construcción pueda competir con el de los pavimentos flexibles, debido a que las vías de pavimento rígido tienen una vida útil más larga y su costo de mantenimiento es mucho más bajo.

En los últimos años se ha desarrollado una metodología para el diseño de pavimentos rígidos que permite optimizar las dimensiones de las mismas utilizando un sistema de losas cortas, metodología que está siendo aplicada en muchos países alrededor del mundo.

En el Ecuador, los diseños viales se basan en la metodología establecida por la AASHTO 1993, metodología en la que se basa el Ministerio de Transporte y Obras Públicas en su Norma “MOP-001-F-2002, Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes”, Norma vigente en el Ecuador. Por esto nace la incertidumbre de si: ¿Es conveniente utilizar metodologías de diseño vial que mejoren el desempeño en pavimentos rígidos, con el fin de ahorrar recursos económicos sin perjudicar la durabilidad, la funcionalidad de la misma? De ser así, económicamente ¿Cuánto podría ser el beneficio?

IDEAS A DEFENDER

En el diseño de pavimentos viales siempre será de suma importancia la optimización de los recursos, ya que el objetivo de cualquier administrador de una red estatal o urbana será de distribuir apropiadamente los recursos de manera favorecer el alcance del mantenimiento, rehabilitación o de construcción de la red vial.

Por esta razón siempre han prevalecido los diseños de pavimentos flexible sobre los pavimentos rígidos, debido a que su construcción representa un ahorro de alrededor del 35% en comparación con los pavimentos rígidos; sin embargo, los pavimentos flexibles tienen un alto costo operacional debido a que requieren de mantenimientos constantes.

Debido a esto siempre será un tema relevante el estudio de metodologías de construcción que permitan la optimización de pavimentos rígidos, en esta investigación se analizará el desempeño de la metodología de losas de hormigón de geometría optimizada (losas cortas), metodología que se ha desarrollado en Chile y que están revolucionando los diseños viales, ya que están teniendo un excelente desempeño y se han logrado diseños en los que se ha alcanzado optimizar hasta 10 centímetros de hormigón de espesor de la capa de rodadura en comparación a diseños utilizando la metodología AASHTO 1993 (metodología tradicional) sin embargo, en el Ecuador aún se siguen utilizando métodos tradicionales para el diseño de vías de pavimentos rígidos, por lo que mi investigación radica en contrastar diseños tradicionales con diseños optimizados, con el fin de dar un veredicto en que si la utilización de estas nuevas metodologías de diseño representan un ahorro significativo en el costo y una mejora en el desempeño sin perjudicar la vida útil, funcionalidad y confort de la misma, para lograr esto, los resultados del diseño deben cumplir todos los parámetros exigidos por la norma “MOP-001-F-2002, Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes”, norma vigente en el Ecuador.

Para este estudio se tomó como referencia el diseño de la Avenida Luis Ángel León Román de la ciudad de Machala, con la intención de plantear una alternativa de diseño usando metodologías de optimización de pavimento con el fin de contrastar ambos diseños y obtener una conclusión final sobre los beneficios o perjuicios de estas nuevas metodologías de diseño.

CAPITULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

1.1.1 Antecedentes Históricos

Uno de los primeros signos del avance de la civilización fueron las carreteras; en el año 3500 a.C. en Mesopotamia aparecieron los primeros constructores de carreteras y, les siguieron los chinos en el siglo XI a.C., los cuales construyeron la carretera más larga del mundo durante

2000 años, la Ruta de Seda, los Incas también construyeron una red de caminos, que recorrían todos los Andes e incluían galerías cortadas en rocas sólidas (Historia de las carreteras, 2012).

Estrabón, geógrafo griego del siglo I, mencionó sobre un sistema de carreteras que iniciaban en la antigua Babilonia. Y, Heródoto, historiador griego indica que las dichas vías fueron construidas para transportar los materiales con los que se construyeron las pirámides y varias estructuras monumentales levantadas por los faraones (2). Actualmente, aún existen algunas de las antiguas carreteras como la vía Apia construida alrededor del 312 a.C. y la vía Faminia en el 220 A.C (Historia de las carreteras, 2012).

Las carreteras romanas tenían un espesor de 90 a 120 cm, las cuales estaban compuestas por tres capas de piedras argamasadas cada vez más finas y una capa de bloques de piedras encajas en la parte superior de las mismas.

El uso de dichas carreteras lo podía realizar cualquier persona, pero según la ley romana los responsables de dar el mantenimiento eran los habitantes del distrito por el que atravesaba la misma. Lo cual resultó eficaz para mantener las calzadas en excelente estado mientras hubiera una autoridad central que así lo controlara. Pero en el siglo X al XV, en la edad media, donde se ausentaron las autoridades del imperio romano, las carreteras empezaron a desaparecer por la falta de mantenimiento (Historia de las carreteras, 2014).

En el siglo XIX, se hicieron perfeccionamientos en los métodos y técnicas en la construcción de las carreteras. Thomas Telford y John Loudon McAdam, ingenieros británicos y Pierre-Marie-Jérôme Trésaguet, ingeniero francés, adoptaron el sistema de Telford, el cual implicaba cavar una zanja e instalar cimientos de roca pesada, los cimientos se levantaban en el centro para que la carretera se inclinara hacia los costados permitiendo el desagüe. La carretera tenía una capa superior de 15 cm de piedra quebrada compacta (Historia de las carreteras, 2014).

El método de McAdam mencionaba que la tierra drenada soportaría cualquier tipo de carga, la capa final de piedra quebrada se coloca directamente sobre un cimiento de tierra que se

elevaba del terreno circundante para asegurarse de que la tierra se desaguaba. También llamado macadamización se adoptó en casi toda Europa, pero los cimientos de las carreteras macadamizadas no soportaron los camiones pesados que se utilizaron en la I Guerra Mundial (Vista de La contribución de Edgeworth al éxito del macadam. Expansión internacional en sus albores, 2021).

En la mitad del siglo XIX se empieza a introducir el ladrillo y asfalto como pavimento para las calles de las grandes ciudades (Historia de las carreteras, 2012).

Pierre Merie Trésaguet, a mediados del siglo XVIII en Francia, comenzó la construcción de pavimentos que se formaban por tres capas de triturado de piedra, las dos primeras con un tamaño máximo de 7.60 cm y un espesor de 20 cm, y una tercera capa de 5 cm y tamaño máximo de 2.5 cm; eran caminos construidos con cunetas laterales y pendientes transversales para solucionar los problemas de drenaje en épocas de lluvias (Sertmen, 2012).

En el año 1865 en Inverness, Escocia, se inició el desarrollo de concreto con el uso del cemento Portland para la construcción de pavimentos rígidos, apenas siendo utilizado 41 años después de que Joseph Aspdin obtuviera la patente para su producción (Londoño, 2022).

En 1891, en Norte América, Bellfountain (Ohio, Estados Unidos), se construyó una vía de 80 metros de largo por 2.40 metros de ancho. Dos años después se construyó el primer pavimento rígido con ancho para normativa de una vía en el mismo sitio, convirtiéndose de esta manera en la primera muestra de pavimento de concreto hecho con cemento Portland en el continente (Londoño, 2022).

En el Ecuador, la vía Biblián – Zhud, provincia de Azoguez, es parte de la red vial estatal, la cual es de gran importancia porque permite la conexión de los principales sectores agrícolas del centro del país. Su tráfico promedio diario anual (TPDA) se encuentra alrededor de 11.110 vehículos. La vía tiene una longitud de 54 Km y esta formada por pavimento compuesto, una capa de pavimento flexible y otra de concreto hidráulico, colocada en el año 2014, donde se invirtieron alrededor de \$ 37'772.669 (Falconí & Pablo, 2019).

Por ser una vía de gran circulación automotora, es vital el buen estado de la misma, logrando esto a través de un mantenimiento adecuado brindado de manera rutinaria y en tiempos correctos, lo que en Ecuador no se realiza correctamente por motivos económicos, lo que causa problemas que afectan directamente a los usuarios, por un incremento en el tiempo que tarda en llegar a su destino y reduce notablemente la calidad del viaje (Falconí & Pablo, 2019).

1.1.2 Antecedentes Conceptuales y Referenciales

Estudios realizados en el año 2011 por el Grupo de Investigación y Desarrollo de Actividades Industriales (GIDAI), comprobaron que las probetas de hormigón no se descomponen a altas temperaturas, ensayos realizados superiores a 500°C, generando escaso humo y permiten la visibilidad de los conductores en caso de incendio en la vía, no entran en ignición y emiten pocas cantidades de gases perjudiciales para el medio ambiente, como CO₂, CO, SO₂ o CH₄ (Díaz & Hacar, 2018).

El IECA, Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones, con la intervención de la Asociación de Profesionales de Técnicos de Bomberos APTB, en la construcción de túneles recomiendan la utilización de pavimentos de hormigón por presentar un mayor nivel de seguridad que proporcionan en una situación de incendio. Reduciendo de esta manera la emisión de humos y gases tóxicos, sin aumentar el nivel de las llamas, por lo que no es inflamable y permite el acceso de equipos y profesionales para realizar la extinción y salvamiento (Díaz & Hacar, 2018).

Según Díaz y Hacar en el año 2018, indica que el pavimento de una carretera está conformado por capas horizontales que tienen la función de transmitir las necesidades del tráfico suficientemente amortiguadas para que logren ser soportadas sin tener que deformarse; y, la capa de rodadura debe ser una superficie cómoda y segura para que los vehículos circulen (Díaz & Hacar, 2018).

Pavimento

El pavimento es una estructura que se encuentra conformada por una o varias capas de materiales diseñados para resistir a los cambios climáticos del medio en el que se encuentran y a las cargas debido a la cantidad de tráfico que circula sobre este, cumple la función de transmitir las cargas a su fundación o subrasante a tal magnitud que pueda soportarlas sin tener que deformarse excesivamente (Alban et al., 2020).

Por tal razón, las capas que conforman el pavimento deben tener una rigidez suficiente, la cual depende de los materiales empleados y del espesor de cada una de sus capas, las cuales están formadas por el suelo de la subrasante y la capa de conformación (Alban et al., 2020).

Compactación

En varias ocasiones el material pétreo que se utiliza para la construcción de carreteras no cumple con los requisitos mínimos de calidad que se exigen en las especificaciones técnicas para su construcción. Al existir la necesidad de estabilizar estos materiales, es necesario formar capas granulares de subbase y base para la ejecución de obras viales, los cuales son el soporte para la losa de cemento hidráulico (Rondón-Quintana et al., 2015).

El problema principal que tiene la construcción de obras viales al colocar el material granular es que son estabilizados en climas templados, de hasta 30°C, por lo que, durante el proceso constructivo de pavimentos rígidos, las especificaciones técnicas no indican la temperatura máxima o mínima para el control de calidad del material de relleno (Rondón-Quintana et al., 2015).

Juntas de dilatación

En los pavimentos rígidos se colocan juntas con el objetivo de disminuir los esfuerzos y prevenir las grietas que se generan por los cambios de volúmenes y deformaciones que soporta la losa, ocasionados por la variación de temperatura a la que está sometido el pavimento y el contenido de humedad del mismo. Además, recomienda que el área de las losas que se encuentran divididas por juntas sean lo más regulares posibles (Licla, 2012).

Delgado y Quispe, en su apartado Diseño del Pavimento de un Aeropuerto clasifican a las juntas en 3 tipos; juntas de expansión, las cuales aíslan estructuras de otras que están provistas por dowels o no. Las juntas de contracción se encargan de controlar las grietas del pavimento cuando se contrae por la disminución del contenido de humedad o por bajas temperaturas, también disminuyen la tensión por la deformación de la losa. Las juntas de construcción o juntas frías se forman cuando las fundiciones de las losas se realizan en diferentes momentos (Licla, 2012).

Granulometría

La textura del suelo va de la mano del material parental, el tipo de meteorización, procesos de sedimentación, transporte y la pedogénesis dominante. La textura del material depende del comportamiento físico – químico del suelo (La Manna, 2016).

La permeabilidad, la retención hídrica, la capacidad de intercambio de iones y el almacenamiento de materia orgánica, son las características que se encuentran netamente relacionadas con la textura, lo que afecta directamente al drenaje interno y las propiedades de construcción del material (La Manna, 2016).

Un análisis granulométrico constituye la homogeneidad de una muestra, lo que es una condición necesaria en las características del suelo (Richter, 1984).

Diseño estructural

Existen dos tipos de pavimentos, pavimento flexible y pavimento rígido, o también se pueden combinar. Lo que los diferencia el uno del otro es su comportamiento al estar sometidos a cargas.

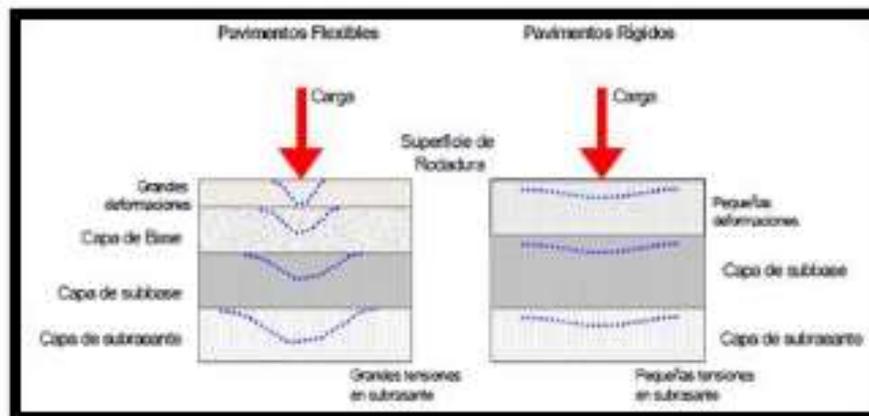


Figura No. 1: Esquema del comportamiento de pavimentos

Fuente: Manual Centroamericano de Diseño de Pavimentos.

Las características que influyen en la decisión del tipo de pavimento a utilizarse son las que validan si se coloca un pavimento rígido o flexible. Aunque muchas veces se opta por la solución de menor costo constructivo, sin evaluar que su vida útil dependerá de un mantenimiento que por lo general no es económico (Licla, 2012).

Pavimento Flexible

El pavimento flexible es una mezcla de asfalto caliente sobre una capa de material llamado base y dependiendo de las condiciones del terreno, se colocará una capa de base y otra de mejoramiento (Licla, 2012).

Los pavimentos flexibles, son aquellos que están hechos a base de mezclas bituminosas y tienen como principal componente el combustible (betún), tienen un comportamiento de combustión acelerada durante un incendio (Díaz & Hacar, 2018).

Pavimento Rígido

Los pavimentos rígidos son aquellos que están formados por una losa de concreto de cemento portland, sobre una capa de base o subbase según las condiciones del suelo (Johnson & Sr, 2017).

El pavimento rígido presenta una deflexión mínima ante la presencia de cargas, lo que se debe al valor del módulo de elasticidad que posee la capa de rodadura, además, gracias a la alta rigidez del concreto las cargas se reparten en áreas considerables (Asphalt research consortium strategic plan, 2007). En el presente trabajo investigativo de titulación se abordará exclusivamente el pavimento rígido.

Capas del Pavimento Rígido

Losa de Hormigón

Es aquella que está conformada por una capa de concreto hidráulico, mejor conocida como losa, la cual debe de ser uniforme y de textura antideslizante. Debe de resistir los efectos abrasivos del tránsito y evitar la filtración de agua al interior del pavimento. Además de soportar y transmitir los esfuerzos de manera adecuada (Licla, 2012).

La capacidad estructural de los pavimentos de hormigón son excelentes para soportar las acciones del tráfico pesado. Llegan a ser más seguras porque reducen la distancia del frenado entre vehículos. Además, resisten los ataques de carburantes y agentes químicos y su durabilidad es mayor frente a las de pavimento flexible (Díaz & Hacar, 2018).

Base

La capa de base es sometida a solicitaciones importantes, por esta razón los materiales que la conforman deben ser de excelente calidad, donde las características son el índice de capacidad cortante, estabilidad, dureza y resistencia a la tracción de las capas rígidas (Paliz, 2016).

El CBR debe ser mínimo de 80 para una densidad seca al 95%. Si el material no logra alcanzar ese CBR se debe mejorar o tratar. Para tráfico menor puede aceptar hasta un CBR de 60 (Paliz, 2016).

Subbase

La conformación de la subbase está constituidos los materiales con un CBR no inferior de 30, con el 95% de la densidad seca máxima del Proctor Modificado. En vías de menor tráfico se puede aceptar un CBR de 25 y para tráfico elevado se exige un CBR mínimo de 35. Los elementos no excederán los 60mm y se recomienda utilizar material delgado para evitar segregación (Paliz, 2016).

Capa de conformación

La capa de conformación o capa de subrasante deben aportar con un CBR mayor o igual a 10 para la circulación segura de los equipos, la densidad seca máxima debe alcanzar el 95% del proctor modificado indispensablemente (Paliz, 2016).

La subrasante puede estar conformada por partículas mayores a 150mm y finas no menores a 0.075mm, con un índice de plasticidad de 20 a 30 (Paliz, 2016).

1.1.3 Antecedentes Contextuales

La ciudad de Machala es la capital de la provincia de El Oro y cabecera cantonal, situada al suroeste del Ecuador sobre una planicie de 33.954 Ha, por sobre los 4 metros sobre el nivel del mar, sus límites naturales al noroeste y suroeste con zonas de manglares, las mismas que se encuentran sujetas a permanentes acciones de deforestación por la presencia de camaroneras, y al oeste con el Océano Pacífico, Puerto Bolívar.

El clima es tropical-húmedo, en promedio presenta precipitaciones de 673 mm al año. La época lluviosa comprende los meses de enero a abril y su temperatura media anual es de 25°C.

Su principal actividad económica es el comercio, producción, mercadeo y exportación de banano, cacao y camarón. La ciudad se encuentra en una situación privilegiada por la cercanía a Puerto Bolívar, a la frontera con el Perú y a las principales ciudades como Guayaquil y Cuenca. La dinámica económica-productiva genera un importante movimiento monetario y financiero que ha incidido de manera directa para el rápido crecimiento poblacional urbano de la ciudad.

Con relación al desarrollo urbano, en los inicios de 1950 la ciudad se extiende entre las calles Boyacá al norte; al sur Arizaga entre Guayas y Junín; al este Tarqui entre Pichincha y Pasaje; y al oeste la actual Av. Palmeras entre el parque de Los Héroes y el Colegio 9 de Octubre. Estos límites empiezan a desbordarse hacia el norte y sobre el eje vial al puerto, evidenciándose el inicio de una dinámica de conurbación urbana.

Existe otro eje vial hacia el norte que es importante por su conexión con las provincias del norte, las cuales son la vía Primavera - La Iberia - El Guabo que se estima será otro eje de desarrollo, pero de acuerdo a los datos obtenidos no se cree que será de la misma magnitud del de la Avenida 25 de Junio.

Las vías que son base para el desarrollo son: al sur el eje vial Avenida Doctor Tinoco Pineda (Vía Balosa) y al este, tres ejes que son la Avenida Ferroviaria, Avenida 25 de Junio y la Avenida Luis Ángel León Román (Vía Pajonal).

El presente trabajo investigativo para la obtención del título de Magister en Ingeniería Civil, mención Vialidad, se concentra en la Avda. Luis Ángel León Román, donde los habitantes que viven alrededor del área de intervención y que diariamente circulan por dicha carretera, se encuentran preocupados por mejorar la calidad de vida de sus familias, por lo que han expuesto sus necesidades en cuanto a la infraestructura vial y eléctrica al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Machala, encontrándose predispuesto a trabajar en el mejoramiento vial de la ciudad.

De esta manera, habilita las diferentes vías para aliviar el tráfico existente y así disminuir accidentes de tránsito, tiempo de recorrido y otros factores negativos que a diario viven los habitantes de este sector de la ciudad (GAD Municipal de Machala, 2019).

Los moradores que habitan en el área se encuentran de acuerdo con la ejecución de la obra vial, lo que genera gran interés en el sector productivo, residencial y turístico; y, se encuentran dispuestos a colaborar con mingas de limpieza a fin de conservar dicha obra (GAD Municipal de Machala, 2019).

La Avenida Luis Ángel León Román es una vía de acceso al casco urbano de la ciudad, tiene un largo 1.62 km y un ancho promedio de 20 metros, la Avenida actualmente está en construcción y los diseños de la estructura de pavimento, fueron realizados utilizando la

metodología de la AASHTO 1993, diseños que son proporcionados por el GAD Municipal de Machala, como base de esta investigación.

1.2 Métodos para la Construcción de Carreteras

1.2.1 Método ASSHTO 1993

Para el diseño de la sección de un pavimento por el Método ASSHTO se requiere determinar la capacidad estructural a soportar en función del tráfico a lo largo de su vida de servicio (Eje de Carga Sencillo Equivalente ESAL) y la resistencia de la subrasante del suelo (Modulo Resiliente Mr) (Montalvo & Marienfeld, 2019).

Según la norma ASSHTO, el paquete de un pavimento debe estar constituido por diversas capas y espesores que van en función del espectro que se va a soportar. Dichas capas también están diseñadas para soportar diferentes agentes ambientales que contribuyen al deterioro de la vía y sus materiales (Lisseth et al., 2018).

La guía de diseño para diseñar pavimentos de la ASSHTO se publicó en 1962, que posteriormente fue evaluada y revisada en 1972 y 1981. En 1984 y 1985, el Subcomité en Diseño de Pavimentos revisaron y aprobaron la guía de la ASSHTO 1986. En el año 1993 se realiza una nueva publicación de guía, por lo que aparece la nueva ASSHTO 1993 (Caporal, 2017).

Los diseños de pavimentos rígidos de la ASSHTO se basan en ensayos realizados en la ciudad de Ottawa, Illinois en los años 1958 y 1960 (Caporal, 2017).

La fórmula deducida en dicho ensayo es:

$$\text{Log } W = \log \rho + \frac{G}{\beta}$$

Donde:

W: Número de cargas de ejes tipo aplicadas hasta la serviciabilidad final.

G: Una función (el logaritmo) de la relación de pérdida de serviciabilidad en el tiempo con respecto a la pérdida potencial para una serviciabilidad de 1.5.

β : Función del diseño y de las cargas que influyen en la forma de la curva ρ (serviciabilidad) vs. W.

* Las expresiones de ρ y β son diferentes a las elaboradas para pavimentos flexibles.

En la guía de la ASSHTO 1986, confirmadas y publicadas en 1993, han realizado varias innovaciones, entre ellas: la confiabilidad (R), desvío estándar de las variables (S_0), coeficiente de drenaje (C_d) y también el considerar la acción de suelos expansivos y efectos de hinchamiento por helada. También el factor de pérdida de soporte (LS) se agregó para tener en cuenta la pérdida por la erosión de subbase o por movimientos verticales diferenciales del suelo, lo que reduce el valor efectivo de k. Donde resulta:

$$\log W_{18} = Z_R S_0 + 7.35 \log(D + 1) - 0.06 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \rho_t) \log \left[\frac{S_c' C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 J \left(D^{0.75} - 18.42 \left(\frac{k}{E_c} \right)^{0.25} \right)} \right]$$

Donde:

W_{18} : Número de cargas de 18 kips (80KN) previstas.

Z_R : Abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada.

S_0 : Desvío estándar de todas las variables.

D: Espesor de la losa del pavimento, en pulg.

ΔPSI : Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

ρ_t : Serviciabilidad final.

S_c' : Módulo de rotura del hormigón, en psi.

J: Coeficiente de transferencia de cargas.

C_d : Coeficiente de drenaje.

E_c : Módulo de elasticidad del hormigón, en psi.

K: Módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balastro), en psi/pulg.

MÉTODO ASSHTO 1993		
VARIABLES		OBSERVACIONES
Tiempo		Gran volumen de tránsito urbano: 30-50 años Gran volumen de tránsito rural: 20-50 años Bajo volumen pavimentado: 15-25 años
Tránsito		Número de repeticiones de ejes equivalentes de 18 kips (80 KN).
Confiabilidad y desviación estándar		$S_0 = 0.34$ (Varianza de tránsito a futuro) $S_0 = 0.39$ (Sin varianza de tránsito a futuro) (Ver anexo No. 01).
Subrasantes expansivas		Se obtiene de un análisis de suelos.
Niveles de serviciabilidad		$\rho_0 = 4.5$ $\rho_t = 2.5$ o más para caminos importantes. $\rho_t = 2.0$ para caminos de menor tránsito.
Módulo de reacción de la subrasante		Se obtiene de un análisis de suelos.
Materiales del Pavimento	Módulo Elástico (PSI)	$E_c = 57000(f_c')^{0.5}$
	Módulo de Rotura	$f_r' = K(f_c')^{0.5}$ *K es una constante que varía entre 7 y 12
Drenaje		C_d varía entre 0.70 y 1.25; a mayor C_d mejor drenaje.
Transferencia de cargas		(Ver anexo No. 02).
Cálculo de Armaduras (pavimentos con juntas)	Longitud de losa	Espacio entre juntas transversales.
	Tensiones de trabajo	75% de la tensión de fluencia Acero Grado 40 = 207 MPa. Acero Grado 60 = 307 MPa.
	Factor de fricción (pies/ksi)	$P_s = \left[\frac{LF}{2f_s} \right] 100$ (Ver anexo No. 03).
Cálculo de Armaduras	Resistencia a la tracción	86% del módulo de rotura. *Se utiliza la tracción a los 28 días.
	Retracción del hormigón	(Ver anexo No. 04)

(pavimentos continuos)	Coeficiente de dilatación del hormigón	(Ver anexo No. 05)
	Diámetro de barras	No. 4: Diámetro 4/8 = 0.5pulg = 12mm No. 5: Diámetro 5/8 = 0.625pulg = 16mm No. 6: Diámetro 6/8 = 0.75pulg = 20mm No. 7: Diámetro 7/8 = 0.875pulg = 22mm
	Coeficiente de dilatación del acero	Se adopta 9.0×10^6 mm/mm/°C ó 5×10^{-6} pulg/pulg/°F
	Diferencia de temperatura de diseño	$DT_D = T_H - T_L$
	Factor de fricción (pies/ksi)	$P_s = \left[\frac{LF}{2f_s} \right] 100$ (Ver anexo No. 03)
Espesor de losa		Utilización de ábacos, conociendo los datos detallados anteriormente. (Ver anexo No. 06).
Armadura longitudinal (pavimento con juntas)		(Ver anexo No. 07).
Armadura longitudinal (pavimento continuo)		Utilización de ábaco, conociendo los datos detallados anteriormente. (Ver anexos No. 08).
Criterios limitantes. (Ver anexo No. 09)	Espaciamiento de fisuras	Mínimo 3.5 pies. Máximo 8 pies.
	Ancho de fisuras	Máximo 0.04 pulg.
	Tensión en el acero	75% de la resistencia última del acero.
Armadura transversal		Se recomienda separación entre barras de 36 y 60 pulg. $Y = \left[\frac{A_s}{P_t D} \right] 100$
Barras de unión		(Ver anexos No. 10 – 11 y 12).
Diseño de juntas		Máximo 24 veces el espesor de la losa. (Ver anexo No. 13).

Tabla No. 1: Variables a considerarse en el Método ASSHTO 1993.

Elaborado por: Autor.

Para el análisis de sensibilidad de las variables que se utilizan en el diseño de un pavimento rígido, se recomienda el uso del programa DIPAV.

1.2.2 Metodología de Losas Cortas o de Geometría Optimizada (TCP Paviments)

La Metodología TCP Paviments es una metodología de diseño para pavimentos rígidos, donde el tamaño de las losas se diseñan con características donde solo un set de ruedas de un vehículo quede sobre ella, donde se utilizan dimensiones de longitud de losa no mayor a 2.50 m. y juntas muy delgadas de 2 a 3 mm de espesor, sin colocar material del sello de juntas ni barras de traspaso de cargas (Castro, 2015).

Con el método TCP Paviments, al reducir la longitud de las losas, también se minimiza su curvatura debido a un gradiente de construcción y una componente cíclica, por diferencias en la temperatura y humedad en el espesor de la losa, lo que ocasiona un estado tensional en la losa según la condición de la longitud y espesor de la misma (Chaparro Maldonado & Pradena Miquel, 2019).

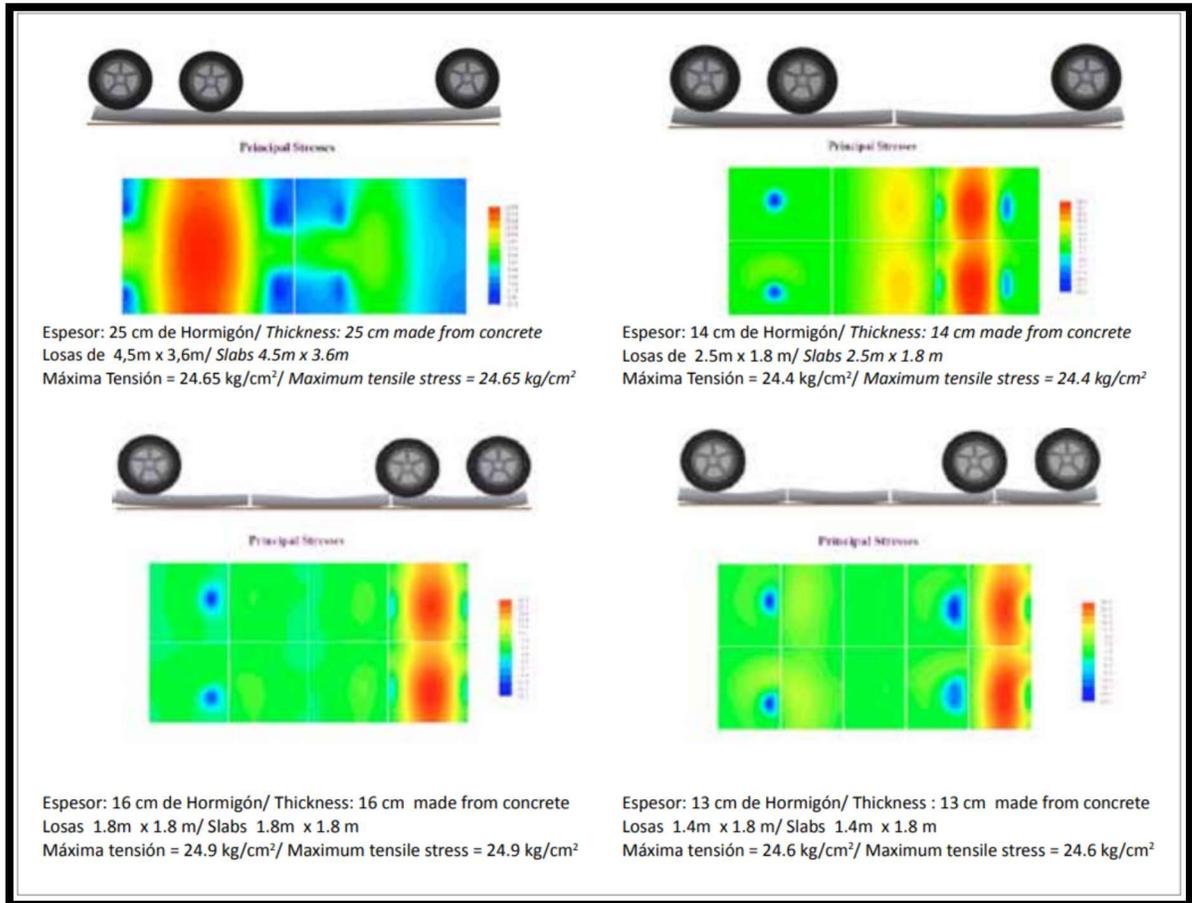


Figura No. 02: Comparación entre la dimensión y espesor de losas para tensiones máximas equivalentes en la superficie

Fuente: Covarrubias Juan, 2012.

El método TCP ha sido utilizado mayormente en el análisis estructural en losas de pavimentos urbanos e interurbanos, validando los conceptos estructurales en los que se basan las losas cortas (Chaparro Maldonado & Pradena Miquel, 2019).

El método de losas cortas o losas de geometría optimizada se desarrolla a través de un diseño factorial compuesto por distintas variables que representan un espectro realista de lo ocurrido en el área de trabajo (Chaparro Maldonado & Pradena Miquel, 2019).

Las variables para el desarrollo del Método de Diseño factorial TCP son:

METODOLOGIA TCP PAVIMENTS	
VARIABLES	OBSERVACIONES
Periodo de diseño.	Término de vida del pavimento.
Tránsito de diseño.	<ul style="list-style-type: none"> - Tránsito liviano. - Tránsito pesado. *Separación de ejes (mm) y peso de ejes (Kn).
Capacidad de soporte del suelo.	<ul style="list-style-type: none"> - CBR Subrasante. - Mejoramiento CBR>20% del espesor. - Base tratada con cemento.
Propiedades del hormigón.	<ul style="list-style-type: none"> - MR del concreto a los 28 días. - Módulo de elasticidad del hormigón. - Coeficiente de retracción térmica. - Retracción hidráulica del hormigón.
Clima.	Temperatura media de construcción, invierno o verano. *En verano se puede llegar a duplicar las tensiones en la losa.
Espaciamiento de juntas.	Normalmente entre 2 a 3 mm de espesor, sin sellante.
Barras de traspaso de carga.	A decisión del diseñador. *Por lo general no se utilizan en este método

Tabla No. 2: Variables a considerarse en el Metodología TCP Paviments.

Elaborado por: Autor.

Si la losa se encuentra optimizada correctamente, se logra un ahorro de hasta 8 cm en el espesor del hormigón a utilizarse (Chaparro Maldonado & Pradena Miquel, 2019).

Para el análisis de sensibilidad de las variables que se utilizan en el diseño de un pavimento rígido de elementos finitos, se recomienda el uso del programa OptiPave o EverFE.

CAPITULO II. METODOLOGÍA

2.1 Modalidad de la Investigación

2.1.1 Enfoque

El presente trabajo de titulación tiene un enfoque cuantitativo, donde se utilizan la recolección de datos que permiten comprobar la hipótesis de la investigación. Esta investigación es netamente objetiva por lo que no cabe lugar a interpretaciones.

2.1.2 Paradigma

El trabajo investigativo está definido por un paradigma positivista, por lo que afirma una realidad absoluta y medible, la relación entre el investigador y fenómeno de estudio, debe ser controlada, puesto que no debe influir en la realización del estudio.

2.2 Nivel o Tipo de Investigación

2.2.1 Tipo Exploratorio

En este tipo de estudio se efectuó la investigación documental, un proceso basado en la búsqueda, recopilación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos.

2.2.2 Tipo Descriptivo

Este tipo de investigación está indicada para determinar el grado de relación y semejanza que pueda existir entre dos o más variables, es decir, entre características o conceptos de un fenómeno. No pretende establecer una explicación completa de la causa – efecto de lo ocurrido, solo aporta indicios sobre las posibles causas de un acontecimiento. En el método correlacional se pueden identificar las relaciones que existen entre dos o más variables, se observan las variaciones que ocurren espontáneamente en ambas para indagar si surgen juntas o no. En este método se utilizan cálculos estadísticos, haciendo mediciones de los

factores, para relacionarlos entre sí, se puede también incluir el control de variables a fin de obtener resultados más válidos.

2.3 Población y Muestra

2.3.1 Población

El sujeto de estudio en esta investigación serán los diseños de pavimentos rígidos que mejoren el desempeño en vías urbanas, particularmente se analizará el caso de la Avenida Luis Ángel León Román (Pajonal) de la ciudad Machala, que es una Avenida importantísima de la ciudad ya que conecta con uno de los ingresos a la misma.

2.3.2 Muestra

Con la fórmula estadística sustentada por Hernández et al (2010) se calcula la muestra para el trabajo investigativo, asumiendo un nivel de confianza del 90% al 99%. Donde:

$$n = \frac{Z^2 pq N}{E^2(N-1) + Z^2 pq} \quad \text{Ec. (1)}$$

- n es el tamaño de la muestra
- Z es el nivel de confianza 90%= 1.64
- p es la probabilidad de éxito 50%/100= 0.5
- q es la probabilidad de fracaso 50%/100 = 0.5
- E es el nivel de error 10%/100 = 0.10
- N es el tamaño de la población

Arrojando como resultado:

$$n = 6 \text{ muestra.}$$

2.4 Métodos con los Materiales Utilizados

2.4.1 Método Teórico

El método teórico permitirá fundamentar conceptual y técnicamente este trabajo de titulación, mediante el análisis y síntesis documental con una intensa revisión bibliográfica sobre la construcción de vías de hormigón mediante los Métodos ASSHTO 1993 y TCP Paviments.

2.4.2 Método Empírico

Tiene como finalidad recoger y registrar ordenadamente los datos relativos al objeto de estudio. El método empírico utilizado será el de observación, medición y experimento.

2.5 Operación de Variables

2.5.1 Variable Dependiente

DISEÑO DE PAVIMENTOS VIALES					
CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TECNICA	INSTRUMENTOS
<p>El diseño de pavimentos consiste en la determinación de los espesores de cada capa que constituye la sección estructural del pavimento, la cual permitirá soportar las cargas durante un periodo de tiempo determinado. Existen diferentes métodos de diseño de pavimentos, los cuáles toman en cuenta principalmente los siguientes factores: tránsito o condiciones de carga, características del suelo de cimentación, características de los materiales que constituyen las capas del pavimento, agentes ambientales y periodo de diseño.</p> <p>Un diseño de pavimentos permite optimizar los volúmenes de materiales de construcción a utilizar, mejorar la vida útil esperada y/o incrementar la resistencia de la sección estructural del pavimento o de alguna de sus capas. Es decir, con un adecuado diseño de pavimentos se proyectan vías terrestres técnica y económicamente factibles.</p>	Pavimentos rígidos tradicionales (ASSHTO 1993)	Diseño estructural de las capas de pavimento.	¿Cuáles son las especificaciones técnicas de la estructura del pavimento?	Entrevista.	Formulario de entrevista.
		Capa de rodadura	¿Cuáles son las dimensiones y especificaciones técnicas de la capa de rodadura?	Entrevista.	Formulario de entrevista.
		Cuantificación de las juntas de dilatación.	¿Cuál es la cantidad longitudinal de las juntas de dilatación?	Observación	Guía de observación
		Cuantificación de los costos operacionales y de construcción de la vía.	¿Cuál es el costo total del proyecto?	Entrevista.	Formulario de entrevista.
	Pavimentos rígidos con losas de geometría optimizada	Diseño estructural de las capas de pavimento.	¿Cuáles son las especificaciones técnicas de la estructura del pavimento?	Entrevista.	Formulario de entrevista.
		Capa de rodadura	¿Cuáles son las dimensiones y especificaciones técnicas de la capa de rodadura?	Entrevista.	Formulario de entrevista.
		Cuantificación de las juntas de dilatación.	¿Cuál es la cantidad longitudinal de las juntas de dilatación y cuál es su impacto en el pavimento?	Observación	Guía de observación
		Cuantificación de los costos operacionales y de construcción de la vía.	¿Cuál es el costo total del proyecto?	Entrevista.	Formulario de entrevista.

Tabla No. 3: Variable Dependiente.

Elaborado por: Autor.

2.5.2 Variable Independiente

VIAS URBANAS					
CONCEPTUALIZACION	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS	TECNICA	INSTRUMENTOS
Una vía urbana es cualquier espacio de dominio común por donde transitan los peatones o circulan los vehículos, dentro de una ciudad. Se conoce como Avenida a una vía importante de comunicación dentro de una ciudad o asentamiento urbano.	Flujo Vehicular	Tipos de Vehículos	¿Qué tipos de vehículos circulan en la avenida?	Observación	Guía de observación
		Velocidad Vehicular	¿A qué velocidad promedio circulan los vehículos en la avenida?	Entrevista.	Formulario de entrevista.
		Volumen de Trafico	¿Cuál es el volumen de tráfico de la avenida?	Entrevista.	Formulario de entrevista.
La Avenida Pajonal de la ciudad de Machala es un acceso a la importantísimo de la ciudad, esta inicia en la Avenida Arízaga y terminar su parte urbana en la Avenida Alejandro Castro Benítez, se extiende hasta la carretera Panamericana E25, transformándose en una carretera rural. Para objeto de esta investigación solo se analizar la parte urbana de la avenida.	Estructura del pavimento	Diseño estructural del pavimento	¿Cuáles son las características físicas de la estructura de pavimento?	Entrevista.	Formulario de entrevista.
		Especificaciones técnicas de las estructuras del pavimento.	¿Las especificaciones técnicas del pavimento cumplen para el diseño de losas con geometría optimizada?	Entrevista.	Formulario de entrevista.
	Parámetros climatológicos	Precipitaciones por año.	¿La cantidad anual de precipitaciones en la ciudad de Machala será un impedimento para la construcción de carreteras de hormigón con geometría optimizada?	Entrevista.	Formulario de entrevista.

Tabla No. 4: Variable Independiente.

Elaborado por: Autor.

2.6 Plan de Recolección de la Información

Se realizó la revisión de artículos científicos publicados alrededor del mundo, que signifiquen un aporte importante a la investigación sobre los diseños de pavimentos viales que mejoren su desempeño. Sobre todo, los que tenga un avance significativo sobre la metodología TCP Paviments (Losas de hormigón de geometría optimizada).

La información obtenida fue depurada en base al análisis y la comparación, de tal manera que se puedan generar juicios críticos que permitan adoptar al investigador una posición teórica en base a este tema que la vaya orientado al cumplimiento de sus metas.

Recolección de los estudios necesarios para el diseño de la Avenida Luis Ángel León Román, como lo son los estudios de suelos, análisis de tráfico y el diseño de utilizando la MOP-001-F-2002, Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes, norma vigente en el Ecuador para la construcción de carreteras, basada en la norma AASHTO 1993. Estudio que fueron proporcionados por las autoridades del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Machala. Debido a que estos estudios fueron realizados para la planificación de la regeneración y ampliación de esta Avenida.

2.7 Plan de Procesamiento de la Información

Se efectuó el diseño de la capa de rodadura de hormigón usando el software OPTIPAVE 2, software desarrollado por la compañía TCP Paviments para el diseño de losas de hormigón de geometría optimizada. Cuya licencia para su uso será otorgada por la empresa HOLCIM S.A., dueña de la patente en el Ecuador.

Se analizó la metodología AASHTO Guide for Design of Pavement Structures de 1993, como contraste de la metodología TCP Paviments. Diseño que fue hecho por el departamento de proyecto del GAD Municipal del Cantón Machala, mismo que está en ejecución.

CAPITULO III. RESULTADOS

La Avenida Luis Ángel León de la ciudad de Machala es un acceso importante de la ciudad, ya que permite descongestionar el tráfico de la Av. 25 de Junio (Acceso principal de la ciudad), y permite conectar el centro de la ciudad con la Carretera Panamericana E25, en este estudio se analizó la mencionada Avenida desde la Av. Arizaga hasta la Av. Alejandro Castro Benítez.

3.1 Metodología AASHTO 1993

El tramo de Avenida en estudio tiene una longitud de 1,62 kilómetros, con un ancho promedio de 20 metros, en donde se diseñó la estructura de la vía utilizando la metodología de la A.A.S.H.T.O. GUIDE FOR DESIGN OD PAVEMENT STRUCTURES VERSION 1993, para diseño de espesores de pavimento rígido, para esto se consideraron las siguientes variables de diseño:

- Se cuantifico el volumen y composición del tráfico actual, mediante conteo manual y mecánico durante 12 horas (entre las 06:00 y 18:00) durante un periodo de 3 días, en el tramo: Av. Luis Ángel León, Esq. Colegio Marcel Laniado de Win, se inició desde el lunes 12 al miércoles 14 de noviembre de 2018, para lo que se utilizó la metodología que recomienda el Ministerio de Transporte y Obras Públicas y se determinó que el TPDA proyectado a 40 años será de 20 113, por lo que esta avenida es considerada de Primer Orden.
- Para obtener la resistencia de la subrasante se tomaron 6 muestras de suelo a lo largo de la vía, en donde se determinó que el C.B.R. de diseño es 3.80%.
- Al ser una vía de primer orden se consideró un periodo de diseño de 40 años.

Los resultados del diseño estructural del pavimento utilizado la metodología A.A.S.H.T.O 1993 fueron los siguientes:

CAPAS DEL PAVIMENTO	ESPESOR (CM)	PERIODO DE DISEÑO (AÑOS)
Capa de rodadura: Hormigón hidráulico $f'c = 320\text{kg/cm}^2$	25.00	40
Subbase Clase III: CBR > 30%	30.00	
Material de Mejoramiento: CBR > 20%	30.00	
Estabilización con material granular grueso (piedra bola > 30cm)	30.00	

Tabla No. 5: Resultados Método ASSHTO 1993.

Elaborado por: Autor.

Los paños de hormigón en este diseño son de 4,50 m x 3,50 m.

Este diseño de pavimento fue el utilizado en la actual construcción de la Avenida Luis Ángel León Román, mismos que fueron realizados por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Machala.

A continuación, se desarrolló el diseño de pavimento utilizando la metodología TCP Paviments, en colaboración de Holcim Ecuador S.A, dueños de la patente de esta tecnología en el Ecuador.

3.2 Metodología TCP Paviments

Se realizó el diseño de la vía utilizando la metodología TCP Paviments, en el que se logró optimizar el espeso de los pavimentos considerando la ubicación relativa de las cargas de las ruedas con la geometría de las losas del pavimento, logrando que cada losa cargue solo un set de ruedas.

Los cálculos se han ejecutado utilizando el sistema de diseño TCP Paviments, que se basa en un análisis de elementos finitos especial para análisis de pavimentos de caminos apoyados en el suelo. El software, utilizado ha sido calibrado con pruebas en la universidad de Illinois, EEUU.

La filosofía de la metodología utilizada en el diseño de las estructuras de pavimentos está fundamentada en los objetivos básicos siguientes:

- Responder estructuralmente y en forma óptima a las solicitaciones de carga y a la capacidad de soporte.
- Desde el punto de vista constructivo, asegurar que sea compatible con las características de las condiciones técnicas del proyecto.
- Impactar lo menos posible el medio ambiente.

Para utilizar esta metodología se utilizaron las mismas variables de diseño que fueron utilizadas para el diseño con AASHTO 1993, que fueron las siguientes:

- Periodo de Diseño: 40 años.
- Tránsito de Diseño: 32'542.375 EE.
- C.B.R. de diseño: 3.80%.
- Hormigón hidráulico de 320 kg/cm².

UMBRALES MAXIMO DE DISEÑO		
PARAMETRO	UMBRAL MAXIMO	CONFIABILIDAD DE DISEÑO
Porcentaje de Losas Agrietadas	30%	80%
Escalonamiento Promedio	5 mm	80%
Índice de Rugosidad del Pavimento	3,5 m/km	80%

Tabla No. 6: Umbrales Máximos de Diseño, Metodología TCP Paviments.

Elaborado por: Autor.

- Sello de Juntas: NO.
- Barras de traspaso de carga: En juntas de construcción.

Dando los siguientes resultados:

CAPAS DEL PAVIMENTO	ESPESOR (CM)	PERIODO DE DISEÑO (AÑOS)
Capa de rodadura: Hormigón hidráulico $f'c = 320 \text{ kg/cm}^2$	16.00	40
Base Tratada con Cemento $f_c 25 \text{ kg/cm}^2$	20.00	
Material de Mejoramiento: $\text{CBR} > 20\%$	49.00	

Tabla No. 7: Resultados de Diseño Metodología TCP Paviments.

Elaborado por: Autor.

Las losas serán de 1,75m de largo y 1,50 m de ancho, y se estimo un porcentaje de losa agrietada del 8% al final de la vida útil del proyecto, lo que representa una IRI de 2,5.

Cabe indicar que para este diseño sea efectivo el corte de juntas debe ser delgado (1,9mm – 2,5mm), y con el fin de no sellar las juntas se deberá considerar la colocación de un geotextil entre la base y la subrasante para evitar la migración de finos). El geotextil deberá ser de mínimo 300 gr/m^2 , esto para proteger la estructura del pavimento de la infiltración de agua producto de las precipitaciones.

Además, tiene una gran ventaja sobre métodos tradicionales ya que al ser los paños mas cortos no se requieren barras de transferencia de cargas.

CAPITULO IV. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Una vez diseñada la estructura del pavimento con ambas metodologías, para un periodo de vida útil de 40 años y utilizando en ambos casos el mismo TPDA y CBR de la subrasante, se contrastan ambos diseños de la siguiente manera:

Para este análisis hemos utilizado los precios contratados en el proyecto de construcción de la Avenida Luis Ángel León (Anexo), con el fin de tener una referencia de precios y lograr cuantificar si existe un ahorro significativo en contrastación entre ambos métodos.

AASHTO 1993 – LOSAS DE 4.50 X 3.50						
CAPA	ESPESOR cm	ÁREA m2	CANTIDAD m3	PRECIO	TOTAL	TOTAL POR M2
PIEDRA BOLA	30	32400	9720	17.66	171,655.20	5.30
MEJORAMIENTO CBR 20%	30	32400	9720	11.40	110,808.00	3.42
SUB BASE CLASE III CBR 30%	30	32400	9720	15.96	155,131.20	4.79
HORMIGON HIDRAULICO f'c= 320 kg/cm2	25	32400	8100	151.69	1,228,689.00	37.92
TOTAL					1,666,283.40	51.43

Tabla No. 8: Resultados por metro cuadrado AASHTO 1993.

Elaborado por: Autor.

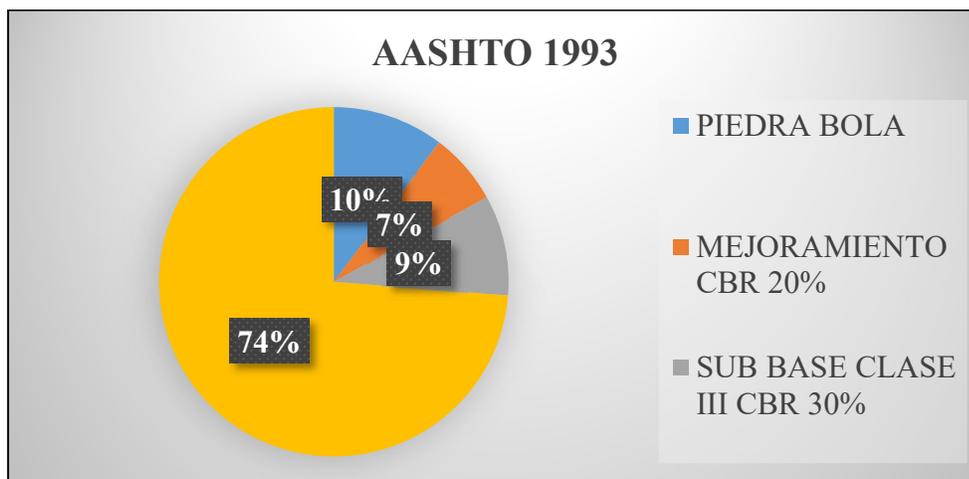


Ilustración No. 1: Resultados AASHTO 1993

Fuente: Autor

TCP - LOSAS DE GEOMETRIA OPTIMIZADA – LOSAS 1,75 X 1,50						
CAPA	ESPESOR cm	ÁREA m2	CANTIDAD m3	PRECIO	TOTAL	TOTAL POR M2
MEJORAMIENTO CBR 20%	49	32400	15876	11.40	180,986.40	5.59
BASE CEMENTO f'c 25 kg/cm2	20	32400	6480	23.00	149,040.00	4.60
CAPA GEOTEXTIL 300 gr/m2	-	32400	32400	1.50	48,600.00	1.50
HORMIGON HIDRAULICO f'c= 320kg/cm2	16	32400	5184	151.69	786,360.96	24.27
TOTAL					1,164,987.36	35.96

Tabla No. 9: Resultados por metro cuadrado TCP Paviments.

Elaborado por: Autor.

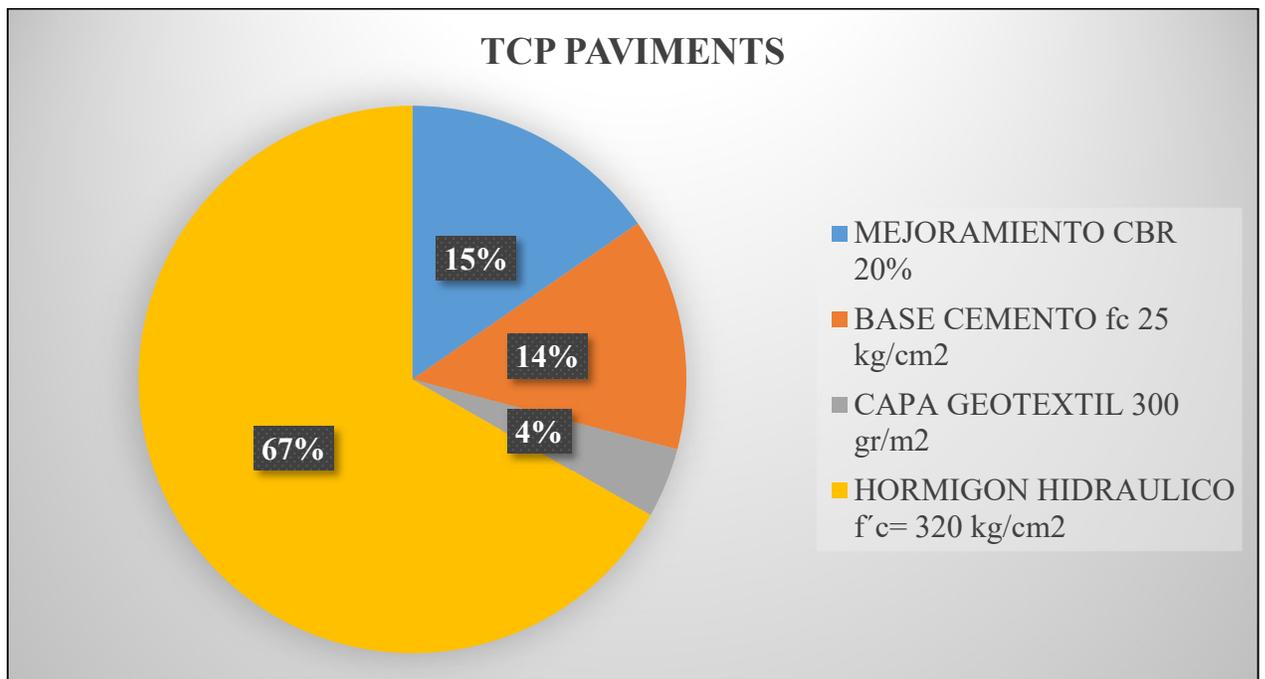


Ilustración No. 2: Resultados TCP Paviments

Fuente: Autor

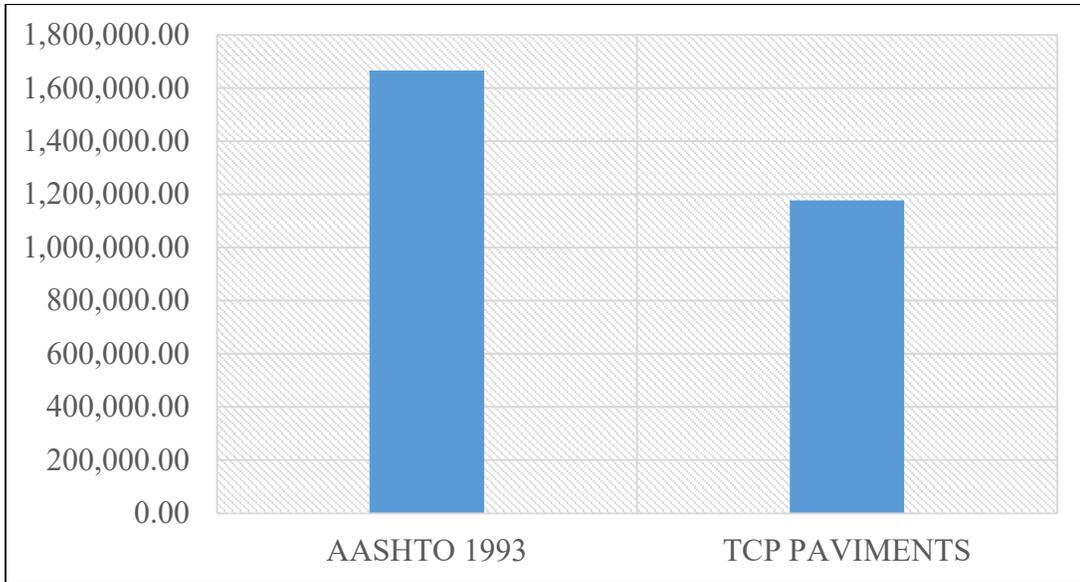


Ilustración No. 3: Costo Total AASHTO 1993 vs TCP Paviments

Fuente: Autor

Como se puede apreciar los costos para construir los rubros viales de la Avenida Luis Ángel León Román utilizando la metodología de la ASSTHO 1993 que propone la construcción de losas de 4,5 m x 3,5 m asciende hasta el USD 1'666,283.40, mientras que optimizando las dimensiones geométricas de las losas de hormigón ha paños de 1,75 x 1,50 se alcanza un presupuesto de USD 1'164,987.36, lo que significa una diferencia de USD 488,336,04, que representa un ahorro del 29.31%.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha evaluado la factibilidad técnica económica de implementar pavimentos de hormigón de losas cortas como alternativa a los pavimentos diseñados con la metodología AASHTO 1993, mediante comparación directa en los costos de construcción de los pavimentos de hormigón. Para esto se eligió estudiar el caso particular de la Avenida Luis Ángel León Román, de la ciudad de Machala, misma que se proyecta como una vía de Primer Orden, ya que es un acceso principal al centro de la ciudad.

La contrastación de ambos métodos para el diseño de pavimentos rígidos se evaluó a partir de los resultados obtenidos, en el software OptiPave2, para pavimentos de losas cortas y el con el diseño realizado tomando todas las recomendaciones de la AASHTO 1993.

Se tomó en consideración los precios de rubros contratados para la construcción de vías de características similares en la ciudad de Machala, con el fin de cuantificar los costos en la construcción de este proyecto.

El resultado de esta constatación determino que el diseño de losas cortas representa un ahorro de USD 488,336,04 en comparación a los diseños con métodos tradicionales, al menos en su costo inicial.

A continuación, se presentan las conclusiones de este trabajo:

- Se ha identificado varias metodologías de diseño de pavimentos, tanto empíricos como mecánicos, que se han desarrollado basados en modelos matemáticos complejos, particularmente se estudió la metodología AASHTO 1993, metodología empírica que analiza paños de hormigón en losas de entre 4,5 a 6 metros de largo y la metodología TCP Pavimentos metodología mecanicista, que analiza paños de hormigón de entre 1,5 a 3 metros.

- Se ha comprobado que la optimización geométrica de las losas de hormigón en pavimentos rígidos optimiza recursos económicos, sin perjudicar el desempeño ni la durabilidad de la obra, tal como se ha demostrado en estudios pasados, estos diseños cumplen con un desempeño similar a los diseños tradicionales, debido a que con la optimización se logra disminuir significativamente las tensiones de tracción superficiales sobre las losas de hormigón.
- Con la optimización geométrica de las losas de hormigón se logra una competitividad en el Costo Directo con las vías de pavimento flexible, y logrando la durabilidad y bajo costo de mantención característico del pavimento rígido.
- Se elaboró un informe de investigación, donde se comprobó la eficiencia de las metodologías de losas de pavimento rígidos de dimensión optimizada, basados en el estudio de la Avenida Luis Ángel León Román, en donde se alcanzó un ahorro del 29,31% en los rubros de la estructura del pavimento, considerando una capa de rodadura de 1.75 x 1.50 metros, y con un espesor de 16 cm, en comparación a la estructura de pavimento que fue resultado de la aplicación de la metodología AASHTO 1993, en la que dio como resultado una capa de rodadura de 4,5 x 3 m y con un espesor de 25 cm. Para ambos casos se utilizaron las mismas variables de diseño.

RECOMENDACIONES

- Los diseños de pavimentos rígidos deben ser elaborados como concepción de una estructura y no solo como una capa de rodadura, y así lograr una optimización de los recursos empleados en su construcción.
- Las metodologías tradicionales se calibran en razón de la serviciabilidad de la capa de rodadura al final de su periodo de diseño, mientras que las metodologías basadas en elementos finitos como la TCP Paviments, se calibra en razón del porcentaje de losas agrietadas en el final de la vida útil, razón por lo que esta metodología, logra optimizar mejor el diseño garantizando su serviciabilidad durante su vida útil.
- Es de suma importancia considerar las características del proyecto para poder calibrar el modelo matemático para utilizar la metodología TCP Paviments en el análisis del diseño estructural del pavimento, ya que esta metodología considera los efectos de alabeo que se pueden producir en la losa por efecto de la temperatura y los esfuerzos de tracción, y considerando que esta metodología, trata de encajar de manera más precisa el diseño geométrico de los hormigones, el análisis de los parámetros del sector (clima, tráfico esperado, CBR de la subrasante) deben ser precisos para que la estructura de pavimento no presente fallas a lo largo de su vida útil.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Alban, G. P. G., Arguello, A. E. V., & Molina, N. E. C. (2020). Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). Análisis del comportamiento de las líneas de crédito a través de la corporación financiera nacional y su aporte al desarrollo de las PYMES en Guayaquil 2011-2015, 4(3), 163–173. [https://doi.org/10.26820/recimundo/4.\(3\).julio.2020.163-173](https://doi.org/10.26820/recimundo/4.(3).julio.2020.163-173)
- Asphalt research consortium strategic plan. (2007). Unr.edu. http://www.arc.unr.edu/Reports/ARC_StrategicPlan_May07.pdf
- Caporal, E. (2017). DISEÑO DE PAVIMENTO METODO AASHTO 93 ESPANOL (1). https://www.academia.edu/34103801/DISEÑO_DE_PAVIMENTO_METODO_AASHTO_93_ESPANOL_1_
- Centro, S. C. T. (s/f). Pavimentos Rígidos y Flexibles, Ventajas y Desventajas. Amivtac.org. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de http://www.amivtac.org/spanelWeb/file-manager/Biblioteca_Amivtac/Reuniones-Nacionales/XIX/XIX-006-a-Pavimentos-Rigidos-y-Flexibles-Ventajas-y-Desventajas.pdf
- Chaparro Maldonado, B. E., & Pradena Miquel, M. (2019). Análisis estructural de pavimentos de hormigón: Losas cortas en pisos industriales. Revista Politécnica, 43(2), 45–50. <https://doi.org/10.33333/rp.vol43n2.989>
- De, F., Civil, I., Mecánica, Y., Richard, I., & Paliz, A. (s/f). UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO PORTADA. Edu.ec. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/22520/1/Maestr%c3%ada%20V.T.%2079%20-%20Paliz%20Escudero%20Richard%20Alfonso.pdf>

Díaz, J., & Hacar, F. (s/f). Estudio de los pavimentos de túneles carreteros: ventajas de los pavimentos de hormigón frente a los bituminosos. Scielo.cl. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de <https://www.scielo.cl/pdf/oyp/n23/0718-2805-oyp-23-0087.pdf>

Falconí, Z., & Pablo, J. (2019). Plan de mantenimiento vial para la vía Biblián – Zhud, en los tramos de pavimento rígido.

Historia de las carreteras. (s/f). Vialidadytransporte.com. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de <http://vialidadytransporte.com/noticia/10-historia-carreteras>

Historia de las carreteras. (2012, diciembre 11). Portal de arquitectura Arqhys.com; Manuel V. <https://www.arqhys.com/contenidos/carreteras-historia.html>

Johnson, D., & Sr, P. E. (s/f). Co-asphalt.com. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de <https://www.co-asphalt.com/assets/docs/4a-FAA-AC5320-6F-March-2017-Update.pdf>

Licla, A. C. (s/f). diseño pavimento de aeropuerto. Slideshare.net. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de <https://es.slideshare.net/anacayhuallalicla/diseo-pavimento-de-aeropuerto>

Lisseth, S., Cedeño, B., Garces, J. B., Javier, I., & Rizo, C. (s/f). COMPARATIVE ANALYSIS OF EQUIVALENT AXES OBTAINED BY THE AASHTO 93 METHOD AND THOSE PROVIDED BY WEIGHING IN FIXED VEHICLE BALANCE DE EJES EQUIVALENTES OBTENIDOS MEDIANTE MÉTODO AASHTO 93 Y LOS PROPORCIONADOS POR PESAJE EN BALANZA FIJA DE VEHÍCULOS ANÁLISIS COMPARATIVO. Sld.cu. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v10n1/2218-3620-rus-10-01-59.pdf>

- Londoño, C. (2022, junio 9). CONCEPTOS BÁSICOS DE DISEÑO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO. 360 EN CONCRETO; Comunidad 360 En Concreto. <https://360enconcreto.com/blog/detalle/diseno-de-pavimentos-de-concreto/>
- Montalvo, J. R., & Marienfeld, M. (s/f). Com.gt. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de <https://omali.com.gt/wp-content/uploads/2019/05/Diseno-de-camino-con-geotextil.pdf>
- Pucha Aguinaca, P. A., & Zárate Torres, B. A. (2020). Evaluación superficial de pavimentos rígidos en carreteras mediante ortoimágenes obtenidas mediante un vehículo aéreo no tripulado. *Avances Investigación en Ingeniería*, 17(2), 1–15. <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.2.6599>
- Repositorio UC. (s/f). Repositorio.uc.cl. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/10204>
- Rondón-Quintana, H. A., Urazán-Bonells, C. F., & Chaves-Pabón, S. B. (s/f). Cómo citar / How to cite. Org.co. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/v18n34/v18n34a05.pdf>
- Saad, I., Sarsam, L., Afrah, M., & Amal, M. (s/f). Assessing close range photogrammetric approach to evaluate pavement surface condition. *Iasj.net*. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de <https://www.iasj.net/iasj/download/bbc13673357e195e>
- Trillo, A. R. (s/f). Characterization of traffic for the design of pavements in urban areas. Cases: streets and avenues of the municipalities San Diego and Naguanagua of the Carabobo state, Venezuela. *Edu.ve*. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v22n2/art08.pdf>

Covarrubias V., Juan Pablo. (2012). Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada. *Revista ingeniería de construcción*, 27(3), 181-197. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732012000300005>

Vista de La contribución de Edgeworth al éxito del macadam. Expansión internacional en sus albores. (s/f). Csic.es. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/articloe/view/6068/7477>

(S/f-a). Org.ar. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de <http://www.ojs.suelos.org.ar/index.php/cds/article/view/217>

(S/f-b). Researchgate.net. Recuperado el 5 de octubre de 2022, de https://www.researchgate.net/profile/Armando-Orobio/publication/282217718_PCAcalculo_Software_Libre_para_Disenode_Pavimentos_de_Concreto/links/5afb029c458515c00b6cb73a/PCAciculo-Software-Libre-para-Disenode-Pavimentos-de-Concreto.pdf