



**UNIVERSIDAD LAICA VICENTE ROCAFUERTE
DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

TEMA

**PAVIMENTO RÍGIDO OPTIMIZADO TCP APLICADO EN
LAS VÍAS.**

DOCENTE

PHD. JAVIER NICOLAS ARECHE GARCIA

AUTOR

CARLOS MANUEL POZO OLVERA

GUAYAQUIL – ECUADOR

2022

REPOSITARIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA	
FICHA DE REGISTRO DE TESIS	
TÍTULO Y SUBTÍTULO: PAVIMENTO RÍGIDO OPTIMIZADO TCP APLICADO EN LAS VÍAS.	
AUTOR/ES: Pozo Olvera Carlos Manuel	REVISORES O TUTORES: Areche García Javier Nicolas
INSTITUCIÓN: Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil	Grado obtenido: TERCER NIVEL DE GRADO
FACULTAD: FACULTAD DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN	CARRERA: INGENIERÍA CIVIL
FECHA DE PUBLICACIÓN: 2022	N. DE PAGS: 83
ÁREAS TEMÁTICAS: Arquitectura y Construcción	
PALABRAS CLAVE: Pavimento, optimización, vías, innovación.	
RESUMEN: La necesidad de innovar en las tecnologías de pavimentos, ha permitido que sus diseños se encuentren en constante evolución, tal es el caso de los pavimentos de losas cortas llamados también pavimentos delgados o TCP por sus siglas en inglés (Thin Concrete Pavements). Estos pavimentos constituyen un sistema de losas con menor sección y geometría optimizada que propone reemplazar las losas de pavimentación	

tradicional, como una respuesta para lograr el adelgazamiento de los espesores, reducción de área de soportes, alabeos, costos de fabricación, reparación y mantenimiento. Por eso, a través de una metodología descriptiva se proyecta la caracterización de los procesos de aplicación de pavimento TCP en vías de acceso a bodegas en el km 14,5 vía Samborondón. Como resultado se obtiene el estudio de los procesos de implementación, la identificación de las fisuras y un comparativo aproximados de costos.

N. DE REGISTRO (en base de datos):	N. DE CLASIFICACIÓN:	
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI <input checked="" type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>
CONTACTO CON AUTOR/ES: POZO OLVERA CARLOS MANUEL	Teléfono: 0960137099	E-mail: cpozoo@ulvr.edu.ec carlospozo_13@hotmail.com
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	Msc. Ing. Milton Andrade Laborde Teléfono: 2596500 Ext. 213 E-mail: mandradel@ulvr.edu.ec Msc. Ing. Alexis Wladimir Valle Benítez Teléfono: 2596500 Ext. 242 E-mail: avalleb@ulvr.edu.ec	

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO

TESIS CARLOS POZO / ARECHE

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%

INDICE DE SIMILITUD

6%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

0%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.unj.edu.pe

Fuente de Internet

3%

2

www.obraspublicas.gob.ec

Fuente de Internet

2%

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 2%



Ing. Javier Areche García. PhD.

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES

El (Los) estudiante(s) egresado(s) CARLOS MANUEL POZO OLVERA declara (mos) bajo juramento, que la autoría del presente proyecto de investigación, PAVIMENTO RÍGIDO OPTIMIZADO TCP APLICADO EN LAS VÍAS, corresponde totalmente a el(los) suscrito(s) y me (nos) responsabilizo (amos) con los criterios y opiniones científicas que en el mismo se declaran, como producto de la investigación realizada.

De la misma forma, cedo (emos) los derechos patrimoniales y de titularidad a la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil, según lo establece la normativa vigente.

Autor(es)



Firma:

CARLOS MANUEL POZO OLVERA

CI: 0931726780

CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Proyecto de Investigación PAVIMENTO RÍGIDO OPTIMIZADO TCP APLICADO EN LAS VÍAS, designado(a) por el Consejo Directivo de la Facultad de INGENIERÍA, INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN de la Universidad Laica VICENTE ROCAFUERTE de Guayaquil.

CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado en todas sus partes el Proyecto de Investigación titulado: PAVIMENTO RÍGIDO OPTIMIZADO TCP APLICADO EN LAS VÍAS, presentado por los estudiantes CARLOS MANUEL POZO OLVERA como requisito previo, para optar al Título de INGENIERO CIVIL, encontrándose apto para su sustentación.



Firma:

JAVIER NICOLAS ARECHE GARCIA

C.C.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a todos mis seres queridos que estuvieron apoyándome a lo largo de mis estudios para lograr ser un profesional.

Agradezco a la empresa en la que actualmente laboro y me ha brindado su apoyo con información necesaria para la realización de mi trabajo de titulación.

Finalmente agradezco a mi tutor, quien de manera acertada supo dirigirme e incentivarme a culminar este trabajo con éxito.

DEDICATORIA

Dedico mi tesis a mi madre y a mi abuelita quienes me han apoyado incondicionalmente en cada etapa de mi vida.

Dedico también este trabajo a mi novia quien me impulsa a ser una mejor persona.

Carlos Manuel Pozo Olvera

ÍNDICE GENERAL

Pág.

CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO ACADÉMICO	iv
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES	v
CERTIFICACIÓN DE ACEPTACIÓN DEL TUTOR	vi
AGRADECIMIENTO	vii
DEDICATORIA	vii
ÍNDICE GENERAL	viii
DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Formulación del problema	4
1.3. Sistematización del problema	4
Objetivos	4
1.4. Objetivo general	4
1.5. Objetivos específicos	4
1.6. Justificación de la investigación	5
1.7. Delimitación del Problema	6
1.8. Hipótesis	6
1.9. Línea de Investigación Institucional/Facultad	6
MARCO TEÓRICO	7
2.1. Marco referencial	7
2.2. Marco Teórico	9
2.2.1. TCP: Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada	10
2.2.2. VÍAS: Diseño de pavimentos rígidos	19
2.2.3. VÍAS: Método AASHTO	31
2.3. Marco Conceptual	33
2.4. Marco Legal	35
MARCO METODOLÓGICO	37
3.1. Metodología	37
3.2. Tipo de investigación	37
3.3. Enfoque de la investigación	37
3.4. Técnicas e Instrumentos	38

3.5. Población y muestra	39
3.6. Análisis de resultados	39
INFORME FINAL	40
4.1. Localización de la zona de estudio	40
4.2. Caracterización sobre el tratamiento del suelo.....	41
4.3. Caracterización del Proceso Constructivo	43
4.3.1. Caracterización metodológica del TCP.....	43
4.3.2. Diseño geométrico	45
4.3.3. Construcción.....	49
4.4. Caracterización de Defectos del Pavimento	59
4.5. Categorización del pavimento	64
CONCLUSIONES.....	67
RECOMENDACIONES.....	69
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Línea de Investigación Institucional/Facultad	6
Tabla 2. Caracterización del tipo de suelo	41
Tabla 3. Análisis comparativo entre las propiedades del hormigón rígido TCP y uno tradicional de acuerdo a la AASHTO 93	44
Tabla 4. Análisis comparativo de materiales utilizados en hormigón rígido y en hormigón tradicional.....	64
Tabla 5. Detalle del proceso de calidad del hormigón rígido TCP.	65

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Imagen 1.</i> Deformación de la losa	11
<i>Imagen 2.</i> Importancia de la carga en la geometría	11
<i>Imagen 3.</i> Geometría de TCP	12
<i>Imagen 4.</i> Comparación de deformaciones de losa larga y corta cargadas por el mismo camión	13
<i>Imagen 5.</i> Comportamiento con barras de amarre	14
<i>Imagen 6.</i> Sistema de pavimentos.....	14
<i>Imagen 7.</i> Diseño de losas Logicentro Lo Boza en curva	15
<i>Imagen 8.</i> Diseño de losas en Centro de Distribución	15
<i>Imagen 9.</i> Posiciones de carga consideradas por las losas como tensiones de tracción críticas	16
<i>Imagen 10.</i> Metodología de Diseño mecanicista.....	18
<i>Imagen 11.</i> Secciones construidas	19
<i>Imagen 12.</i> Pavimentos rígidos	20
<i>Imagen 13.</i> Pavimentos rígidos.....	20
<i>Imagen 14.</i> Pavimentos rígidos	21
<i>Imagen 15.</i> Pavimentos rígidos	21
<i>Imagen 16.</i> Pavimentos rígidos	22
<i>Imagen 17.</i> Pavimentos rígidos	22
<i>Imagen 18.</i> Levantamiento de losas y bombeo de finos.....	23
<i>Imagen 19.</i> Fisuras de esquina.....	23
<i>Imagen 20.</i> Losa dividida	24
<i>Imagen 21.</i> Escalonamiento y falla de sellante	24
<i>Imagen 22.</i> Fisuras Transversales	25
<i>Imagen 23.</i> Figuras longitudinales	25
<i>Imagen 24.</i> Figuras diagonales	25
<i>Imagen 25.</i> Desgaste superficial.....	26

Imagen 26. Roturas localizadas	26
Imagen 27. Losa bailarina.....	26
Imagen 28. Fisuras superficiales	27
Imagen 29. Roturas localizadas	27
Imagen 30. Desportillado de juntas.....	27
Imagen 31. Desportillado de rotura	28
Imagen 32. Asentamiento	28
Imagen 33. Hueco.....	28
Imagen 34. Ubicación del terreno.....	40
Imagen 35. Relación humedad compactación	41
Imagen 36. Rangos de humedad	42
Imagen 37. Rangos de Compactación	43
Imagen 38. Resumen del clima	48
Imagen 39. Señalización de área.....	49
Imagen 40. Limpieza y desbroce	50
Imagen 41. Señalización por niveles.....	50
Imagen 42. Movimiento de tierra	51
Imagen 43. Toma de muestras	51
Imagen 44. Mejoramiento del suelo	52
Imagen 45. Colocación de sub-base.....	52
Imagen 46. Estabilización con cemento	53
Imagen 47. Colocación de geotextil	53
Imagen 48. Detalle de cuneta	54
Imagen 49. Fundido de cuneta.....	54
Imagen 50. Moldeo de cuneta	55
Imagen 51. Corte del pavimento.....	56
Imagen 52. Colocación de malla de confinamiento.....	56
Imagen 53. Fundido de losa	57
Imagen 54. Detalle de losas	57
Imagen 55. Texturizado de hormigón.....	58
Imagen 56. Detalle de losas	58
Imagen 57. Curado del hormigón.....	59
Imagen 58. Identificación de 18 fisuras lineales en los 30 paños de la calzada	60
Imagen 59. Identificación de fisuras en canaletas.....	61
Imagen 60. Paños con defectos	63
Imagen 61. Análisis de costos.....	66

INTRODUCCIÓN

La necesidad de innovar en las tecnologías de pavimentos, ha permitido que sus diseños se encuentren en constante evolución, tal es el caso de los pavimentos de losas cortas llamados también pavimentos delgados o TCP por sus siglas en inglés (Thin Concrete Pavements). Estos pavimentos constituyen un sistema de losas con menor sección con la que plantea sustituir la tradicional losa a base de pavimento por un método de losas con geometría optimizada; esto quiere decir, losas más cortas que evitan los problemas de alabeo y otras fallas del pavimento, a causa de su eficiente distribución de la carga.

El aspecto fundamental del TCP, es el diseño de la dimensión de la losa para evitar que más de un set de ruedas quepa dentro de una determinada losa, restando la tensión de tracción y su carga máxima adentro de la superficie. Esta tecnología ya es utilizada en los países de Chile, Guatemala, Perú, Australia, Estados Unidos y Colombia; sin embargo, no es de libre uso ya que este sistema se encuentra protegido en Chile mediante la patente industrial.

En el Ecuador, este sistema está siendo implementado paulatinamente, tanto así que la empresa Holcim SA se ha convertido en la entidad líder para ofrecer soluciones constructivas viales a través de los pavimentos rígidos optimizados TCP; puesto que, la tecnología, está resguardada por medio de la prelación del Convenio de París, así también presenta una protección a través del método internacional PCT con un total de 80 países, en la gran mayoría con concesión formal de la patente quienes deberán realizar el pago por medio de facturas y en otros aún se encuentra con protección provisional.

Por eso, en el capítulo I de esta tesis se establece todo lo relacionado al problema de investigación la identificación de objetivos, la justificación, la delimitación, hipótesis y variables, que conllevan al desarrollo de la caracterización del pavimento rígido optimizado TCP aplicado en las vías de acceso a bodegas del km 14,5 vía Samborondón. En el capítulo II se coloca el marco teórico de la investigación donde se plantea los antecedentes investigativos relacionada con las variables identificadas que estarán acompañada de un marco legal y conceptual. En el Capítulo III se detalla el método y por su puesto el diseño de la investigación, y poder validar cuáles serán las técnicas de recopilación de datos, la población y muestra. Mientras que en el Capítulo IV podremos observar el análisis de los datos obtenidos con sus conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Tema

Pavimento rígido optimizado TCP aplicado en las vías.

1.1. Planteamiento del problema

Las vías representan un espacio de dominio público donde transitan los peatones, vehículos motorizados y no motorizados, vinculadas a leyes de carácter internacional y local. La falta de tratamiento y mantenimiento en vías ha generado que el número de víctimas mortales en las carreteras incremente a causa de las maniobras emergentes para evitar baches. Según datos de la Tercera Conferencia Ministerial Mundial Sobre Seguridad Vial (2020) estima que “cada año mueren 1,35 millones de personas y que no menos de 50 millones sufren traumatismos por esa causa”. Las colisiones en la carretera son una de las principales causas de muerte en todo el mundo, en personas de todas las edades. En este mismo aspecto, se anuncia que las intervenciones deben vincular la seguridad vial con los retos de la sostenibilidad.

En Latinoamérica, Hennis, A. (2019) recalca que una de las razones de este aumento de accidentes se debe a que el desarrollo del 60% de las infraestructuras urbanas de transporte no ha seguido el mismo ritmo de crecimiento que las ciudades y poblaciones urbanas, esto conlleva a que existan opciones limitadas para el uso de transporte público y a una falta alarmante de movilidad. Es decir, que la problemática vial se configura como un escenario donde la falta de pavimentos rígidos o flexibles aumenta los índices de mortalidad dentro de las zonas, especialmente a causa de las externalidades producidas por la calidad de los suelos.

Con respecto a esto, en Ecuador, el MTOP (2021) y la ANT (2020) identifican que han existido 3,839 siniestros de tránsito a febrero del 2020 por tal motivo el significado de seguridad vial no ha sido incluido en el diseño de las rutas viales del país, para esto se debe tener presente que, dentro de las obras viales, debe tomarse en cuenta desde el diseño, construcción y mantenimiento hasta las operaciones esta obra. Este concepto debe ser atendido partiendo de alza de precio tanto en el ámbito social y económico causados por los sucesos de tránsito que se muestran a diario en el Ecuador, muchos de los cuales se encuentran vinculados a una mala educación vial más que al diseño geométrico. Por ello, varias de las problemáticas registradas en vías son por obras de construcción, rehabilitación y mantenimiento; estos procesos, se

adjudican a los flujos de alto tránsito sobre el pavimento que dañan la calzada, al desgaste por la alta movilidad de vehículos motorizados, a problemas con taludes inestables, desprendimiento de material rocoso, asentamientos, movimientos de tierra, entre otros, los cuales requieren de bacheos o de reparaciones extensas en los paños.

Esta no es la excepción para Samborondón, la cual ha evidenciado durante los últimos años un constante crecimiento residencial y poblacional en la Parroquia Satélite la Puntilla, que según datos del PDOT (2012-2022) posee un 44% de la población total del cantón con un crecimiento del 9.2%. Muestra de ello, son los terrenos aledaños a la vía Miguel Yúnez, que constituyen uno de los sectores de mayor proyección inmobiliaria. Por ello en el 2013 se expide la ordenanza modificatoria de la Parroquia Satélite la Puntilla en sus límites urbanos, para abarcar las zonas de este sector. Dentro del km 14.5 de esta vía, se evidencia la construcción de varios equipamientos; entre ellos, se encuentra la proyección de bodegas y centros logísticos que albergan vehículos de carga pesada debido a su conexión intermedia entre la distribución de productos del campo-ciudad.

A pesar de que el PDOT de Samborondón registra una disminución del 13.7% en siniestros viales, la Av. Miguel Yúnez, cruza Tarifa y Boca de Caña donde están las áreas urbanas, a un ras superior de los demás recintos. Esta causa muchas dificultades para el alto tráfico en esta vía principal. Además, se evidencia que el paso constante de vehículos de carga pesada deteriora la vía a causa de la frecuencia y peso de la carga; esto genera problemas de asentamientos y aparición de baches superficiales por agrietamiento que provocan una disminución en la calidad de la logística y el transporte. Otro de los problemas es la resistencia a cambios climáticos y altos valores de precipitación que degradan la carpeta de rodadura, aumentando el riesgo de accidentes. En este sentido, se evidencia la necesidad de proyectar constantes mantenimientos, que a su vez incrementan el costo de operación del concreto asfáltico de esta vía bajo métodos empíricos tradicionales como la AASHTO 93.

A saber, el uso de pavimentos rígidos tradicionales requiere de mayor cantidad de materiales, especialmente para la transferencia de cargas; esto provoca mayores costos de implementación que influyen en los valores de mantenimiento, puesto que las reparaciones se deben realizar por paños. Por último, vale destacar que el uso de estos pavimentos rígidos ha mejorado sus condiciones gracias a la adición de fibras estructurales a su matriz; sin embargo, su uso no ha sido ampliamente aplicado en el Ecuador.

1.2. Formulación del problema

¿Qué características posee el pavimento rígido optimizado TCP aplicado en las vías de acceso a bodegas?

1.3. Sistematización del problema

- ¿Cuáles son las características mecánicas y propiedades físicas del suelo en la zona de estudio?
- ¿Cómo es el proceso constructivo del pavimento rígido optimizado TCP en las vías de acceso a bodegas?
- ¿Cuáles son las fallas del pavimento rígido optimizado TCP en las vías de acceso a bodegas?
- ¿Qué categoría presenta el pavimento rígido optimizado TCP?

Objetivos

1.4. Objetivo general

- Caracterizar el pavimento rígido optimizado TCP aplicado en las vías de acceso a bodegas

1.5. Objetivos específicos

- Determinar las características mecánicas y propiedades físicas del suelo en la zona de estudio.
- Describir el proceso constructivo del pavimento rígido optimizado TCP en las vías de acceso a bodegas.
- Identificar las fallas del pavimento rígido optimizado TCP en las vías de acceso a bodegas
- Categorizar el pavimento rígido optimizado TCP en su aplicación en vías de acceso a bodegas

1.6. Justificación de la investigación

Desde el punto de vista teórico esta tesis es necesaria debido a que se estudiará aspectos teóricos relacionados con la variable de pavimento rígido optimizado y vías. La calzada al constituir una fachada vial para aquellos usuarios que la observan cotidianamente, se configura como la superficie por la que transitan diariamente los peatones y los vehículos motorizados y no motorizados que se vinculan a los sistemas de movilidad y seguridad vial que se requieren para mejorar las problemáticas existentes. Este aspecto permite introducir las nuevas tecnologías de construcción sobre las vías que se han vinculado al mercado de las capas superficiales de pavimentos rígidos.

Desde el punto de vista metodológico esta tesis va a establecer aspectos que permitirán desarrollar una caracterización clara de la variable. Por ello, el estudio del pavimento rígido optimizado que actualmente se emplea para suplir las losas de pavimentación usual (AASHTO) por un método de menor espesor con geometría optimizada permitirá brindar un marco teórico que permitan economizar tiempo y materiales, tanto en las capas granulares como en la carpeta de rodadura, es decir, mayor duración a un menor costo. Este sistema chileno se encuentra actualmente patentado, por lo que en Ecuador solo ha sido aplicado por pocas empresas privadas debido a sus grandes beneficios. Entre ellos se destaca la ausencia de barras de transferencia de carga, la disminución de riesgos de rotura debido a su diseño por paños costos y la reducción de agrietamientos por su distribución más eficiente de la carga.

Desde el punto de vista práctico esta tesis va a brindar una guía en cuanto al proceso constructivo, características y principales fallas del pavimento rígido optimizado TCP aplicado en las vías de acceso a bodegas proyectadas dentro del km 14.5 de la vía a Samborondón; este proceso busca generar información a través de la operacionalización univariable que permita establecer datos de la estructura, el funcionamiento y las buenas prácticas para que sirva de línea base a aquellos técnicos que requieran implementar este sistema dentro de la zona y también para quienes se encuentren en proceso de experimentación de nuevos materiales con base en la tecnología del TCP.

1.7. Delimitación del Problema

Campo:	Educación Superior. Tercer nivel de grado
Área:	Ingeniería Civil.
Aspecto:	Descriptiva
Tema:	Pavimento rígido optimizado TCP aplicado en las vías.
Delimitación espacial:	Ecuador, Provincia del Guayas, Cantón Samborondón km 14.5 de la vía a Samborondón Av. Miguel Yúnez
Delimitación temporal:	6 meses

1.8. Hipótesis

Con las practicas apropiadas para el sistema constructivo del pavimento rígido optimizado en su aplicación de vías de acceso a bodegas proyectadas para el km 14.5 de la vía a Samborondón, se obtendrán buenas características y muy pocas fallas en el pavimento rígido optimizado.

1.9. Línea de Investigación Institucional/Facultad

Tabla 1.

Línea de Investigación Institucional/Facultad

Línea de investigación		
Dominio	Línea institucional	Línea de Facultad
Urbanismo y ordenamiento territorial aplicando tecnología de construcción eco-amigable, industria y desarrollo de energías renovables	Territorio, medio ambiente y materiales innovadores para la construcción.	Materiales de construcción.

Fuente: Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil (2019)

Elaborado por: Pozo, C. (2021)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Marco referencial

Según Pradera, M. & Chaparro, B. (2019) del Departamento de Ingeniería Civil la Universidad la Concepción de Chile, en uno de sus artículos que presentó un análisis estructurado de pavimento de hormigón en losas para pisos en el ámbito industrial, este análisis fue publicado en la Revista Politécnica. Esta presentación se basa en la innovación del uso del pavimento de hormigón, que implica una reestructuración de modelo, donde se mantiene un máximo de juntas con el objetivo de reducir las tensiones. Con el uso del pavimentos urbanos e interurbanos se evidencia un gran ahorro económico de hasta un 25%. El aporte de esta tesis, es la afirmación de que los pisos de hormigón para las industrias tienen solicitaciones diferentes para las carreteras e incluso en los caminos ya que mantienen diferentes tipos de tráfico.

Para, Villarroel, D. (2018) de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Perú, informa en su tesis como título es; Evaluación de Pavimento con losas cortas de hormigón “TCP”, En su estudio menciona todos los aspectos de manera resumida, en donde logra realizar un balance práctico entre el método AASHTO 93 y la metodología del TCP, este balance se logró realizar usando un software que es el DIPAV 2.3, para lograr realizar el cálculo de espesores. Dentro de este estudio se lograron realizar ciertos ajustes en el método tradicional para poder así adaptarlo en el pavimento con losas cortas de hormigón del tipo TCP, para poder demostrar así, la hipótesis que se plantea en relación con los esfuerzos generados en losas cortas, ante losas con diseño convencional. La contribución de esta tesis es el aval de aplicación del software EverFE 2.24, como método de optimización de la losa hasta llegar a un espesor óptimo.

Finalmente, Mendoza, H (2015) de la Universidad Nacional de San Cristóbal De Huamanga, Ayacucho, Perú, logro conseguir el título de Ingeniero Civil realizando un estudio profundo del boceto de losas cortas del tipo TCP en pavimentos, para lograrlo se recolecto información muy necesaria donde se lograron realizar cálculos y obtener el coeficiente. Se observo que para obtener el diseño del pavimento TCP, se debe cumplir con el préstamo necesario y contengan material fino menor o igual al 8 %. Al momento de identificar los valores, para el análisis de esta tesis se usó el software SAP 2000, en donde se pudo observar que las tensiones para el diseño TCP son menores que las que se realizaron con el diseño de AASHTO.

Para esta tesis se rescata las reducciones en la tensión que permitieron al autor trabajar con 3 cm de espesor y obteniendo una tensión semejante de las losas tradicionales.

Por otro lado, para la variable Vías, Delgado, C. & Rivera, L. (2019) de la Escuela Superior Politécnica Del Litoral, Guayaquil, Ecuador, en su tesis lograron presentar una propuesta en la vía del Virgen de Fátima que está en el kilómetro once en Naranjal la integración de pavimento rígido, donde sus condiciones de uso se realizaron en suelo totalmente agrícola. Esta intervención se logró realizar debido a que la construcción realizada era sobre un pavimento del tipo flexible construido a base del método AASHTO 93, modelo de diseño más implementado en el Ecuador. De esta tesis, se toma como aporte, el trabajo realizado en el programa optipave 2 para obtener el espesor a través del sistema de losas TCP y los parámetros de diseño en las vías.

Guzmán, M. (2020) de la Universidad Católica De Santiago De Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, en su estudio para poder obtener el título de Ingeniero Civil, realizó un estudio donde se pueda comparar cuales serían los beneficios económicos para poder reemplazar el TCP en proyectos concesionados, para poder realizar esta comparativa se tomó con estudio de caso la rehabilitación y mantenimiento del sistema vial Guayaquil – Salinas, con los resultados obtenidos se puede demostrar que es mejor ampliar los tiempos de retribución con el fin de poder mejorar los costos de aplicación con TCP debido a las afectaciones que se puedan tener por mantenimiento, siendo así mantener los sistemas tradicionales hasta que se logre ampliar el estudio con otras posibles variables de análisis. El aporte de esta tesis son las variables que no se consideraron y que influyen en el costo de la vía.

Para Florez, A., Morales, W. & Rodríguez Y. (2019) de Corporación Universitaria Minuto de Dios Girardot, Colombia, realizaron pruebas donde manifestaron que la baja en los espacios de losa aplicada en vías, logren permitir un soporte aunque se use más ejes antes de empezar a agrietarse, un ejemplo claro, sería con las losas con un espesor de 15 cm, lograron demostrar que se generan las grietas a los 12 millones de ejes que es el equivalente promedio, por otro lado las losas con un tamaño de 8 cm en su espesor, lograron resistir 75.000 ejes equivalentes antes de las primeras grietas, con este estudio y vivo ejemplo se puede comprobar que las losas de hormigón sobre las bases granulares donde el espesor de losa es de 20 cm no se presenta agrietamiento a pesar de haber sido ensayados a más de 50 millones de ejes equivalentes.

Según las pruebas realizadas por estos mismos autores, pudieron demostrar que las losas a base de hormigón con fibra pueden lograr soportar veinte veces más antes de empezar a abrirse, así puede proporcionar una vida útil con más tiempo una vez que empieza a abrirse, esto significa que reduce sustancialmente sus costos de mantenimiento. Para corroborar esto, emplearon el software OptiPave2, para el ingreso de datos requeridos en el desarrollado de pavimentos TCPavements. El aporte de esta tesis es la implementación de tecnología de losas con geometría optimizada, la cual permite diseñar losas de concreto geometría optimizada y reducir tensiones internas en el pavimento, logrando dominar el espesor de este entre 4 y 10 cm frente a pavimentos tradicionales, ahorrando material de construcción, debido a que su mantenimiento es más duradero.

2.2. Marco Teórico

La necesidad de innovar en las tecnologías de pavimentos, ha permitido que sus diseños se encuentren en constante evolución, tal es el caso de los pavimentos de losas cortas llamados también pavimentos delgados o TCP por sus siglas en inglés (Thin Concrete Pavements). Para Salgado, M (2020) estos pavimentos son un método de losas con geometría precisa que propone reemplazar las losas de pavimentación tradicional, como una respuesta para lograr el adelgazamiento de los espesores de las estructuras, reduciendo sus costos iniciales sin afectar los atributos positivos que implica el uso de los pavimentos de concreto.

Para efecto de la primera variable, TCP, se toma como referencia el artículo más reciente publicado en el 2012 por Juan Pablo Covarrubias, desarrollador de la metodología TCPavements, publicado en la Revista Ingeniería de la Construcción de la base Scielo, puesto que no se evidencian publicaciones recientes. Además, se toma como referente, las imágenes publicadas en la página web de su empresa para complementar las ideas desarrolladas por este autor. Este marco, se desarrolla de esta manera, ya que al ser el TCP un sistema innovador, la información de su tecnología no es de libre uso puesto que “se encuentra protegido en Chile mediante la patente industrial N° 44820, en EE.UU. por la patente N°7.571.581, y a nivel de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI) por medio de la solicitud PCT N° PCT/EP2006/064732” (Covarrubias, J., 2012), además por medio del convenio de París, se patenta en América y Asia, así como otros 80 países por medio del sistema internacional PCT quienes deberán realizar el pago por medio de facturas.

2.2.1. TCP: Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada

Generalidades

La empresa TCP, propone sustituir las losas comunes (AASHTO) por un método de losas cuya geometría mejorada permita una repartición más eficaz de la carga, de esta manera se evitan problemas de agrietamiento, alabeo, ahuellamiento y otras fallas que se presentan y afectan directamente los pavimentos. Las dimensiones tradicionales de losas AASHTO 93 en pavimentos rígidos de hormigón son de 3,6 m de ancho por 4,5 m de longitud y espesores que varían entre los 15 - 35 cm, dependiendo del clima, materiales y nivel de tráfico; mientras que, el principio básico del método TCP, consiste en basar su diseño al espacio de la losa para que solo un set de ruedas se halle en un determinado paño, restando la tensión que pueda tener con la tracción (carga máxima) en la superficie. (Covarrubias, J. 2017)

La metodología nació gracias a la búsqueda de soluciones para el agrietamiento de los pavimentos de concreto tradicional. Actualmente es reconocida por el ACI (American Concrete Institute), como una solución innovadora que reduce espesores y alarga el tiempo de vida de los pavimentos, al optimizar el dimensionamiento de las losas y una eficiente distribución de las cargas del diseño. La invención se la otorga a Juan Pablo Covarrubias Torres, Ingeniero Civil PhD, MsC y Socio Director de TCPavements. (Covarrubias, J. 2005).

Según Covarrubias, J. (2012), se crea una lista de ajustes para el sistema:

- Mantener una base granulada que sea apta para el agua, para reducir la probabilidad de fallas como bombeo o escalonamiento
- Mantener una capa de geotextil para impedir la penetración de la subrasante a la base.
- Las losas delgadas deben estar sujetas a la berma.

Características del TCP

Tensiones en la losa de hormigón: Covarrubias J. (2012) indica que, al reducir la tensión de la losa en la parte superior, se puede obtener mejor rendimiento en tiempo de vida del pavimento. A su vez, al reducir el espesor permite mantener las mismas tensiones y tiempo de vida generados con el diseño tradicional. Esto, se debe a que las tensiones son mínimos, y

se puede usar menos espesor de concreto. En la imagen 1 y 2, se muestra cómo funciona la geometría de la losa con respecto a la carga.

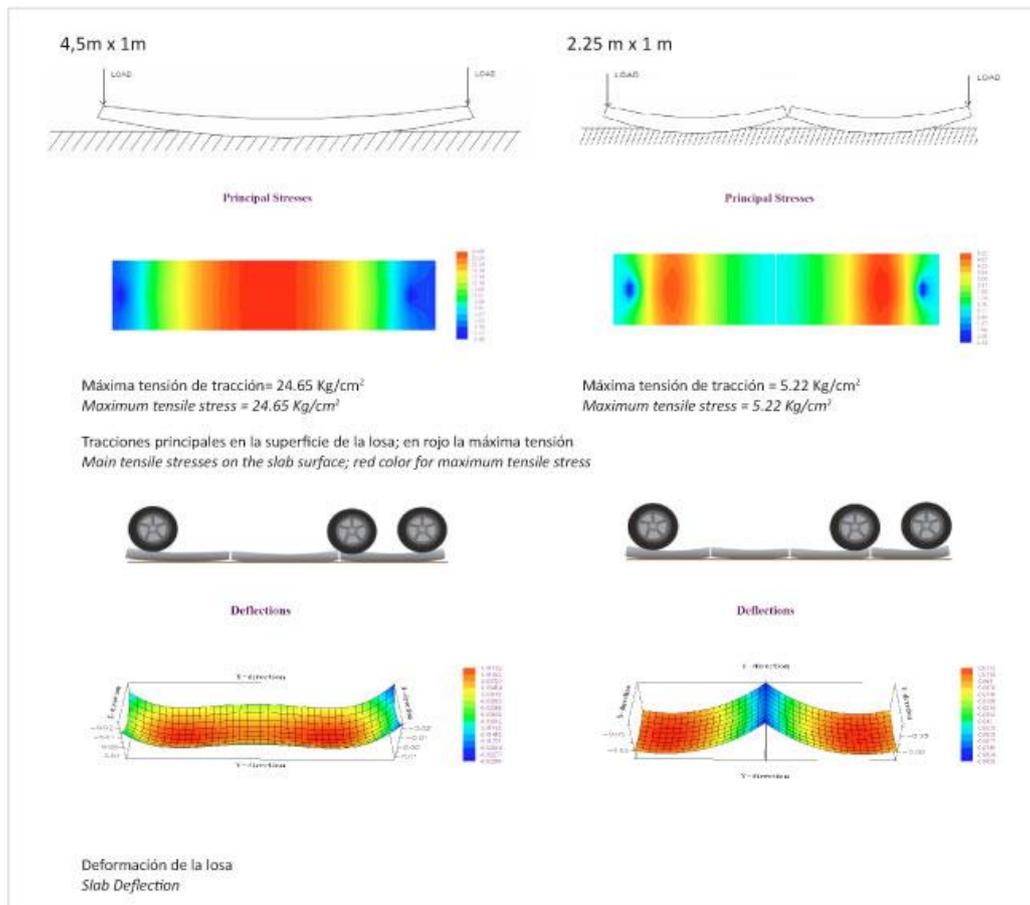


Imagen 1. Deformación de la losa
Fuente. Covarrubias, 2012



Imagen 2. Importancia de la carga en la geometría
Fuente. Covarrubias, 2005

Dimensiones: Según Covarrubias, J. (2012), dadas las posiciones de la carga, se pueden emplear losas cuadradas de 1.75m, aunque en losas pequeñas se recomiendan dimensiones para media pista de 1,20 a 2,50m. Para cumplir con las especificaciones del proyecto debe tener un cumplimiento en las modulaciones de las losas si estas son de distintas. Por otro lado, su espesor se reduce de a 4 a 10 cm, en donde se puede optimizar los recursos hasta un 30%. Para Pradena, M & Chaparro, B. (2019) “las losas de concreto tradicional son capaces de soportar las tensiones por punzonamiento, comparadas con las losas cortas (TCP), que necesitan una sub base con la suficiente rigidez para absorber parte de las cargas de los vehículos”. Por ello, con la aplicación de material fino menor al 8% se logra reducir las dimensiones de las losas obteniendo espesores de 3cm con deformaciones por cargas mayores y deformaciones por alabeos menores.

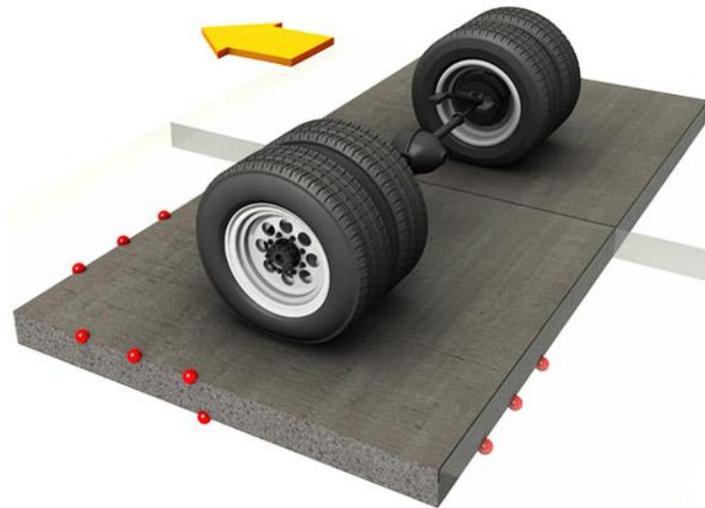


Imagen 3. Geometría de TCP
Fuente. TCPavements, s/f

Geometría: El sistema TCP, emplea una geometría rectangular, con la premisa de que solo un set de ruedas quepa en un solo paño. Esta solución se puede aplicar para dos objetivos, el primero lograr enflaquecer el pavimento y el segundo, incrementar el tiempo de vida. El TCP, puede ser diseñado con juntas o sin sellas, aunque generalmente no consideran sello de juntas.

Alabeo: El alabeo se define como una curvatura cóncava y está ubicado en la parte superior e inferior de la losa que está hecho de hormigón elaboradas por engranajes de temperatura y humedad. La construcción de un pavimento con alabeo tiene un trabajo inferior que uno con un pequeño alabeo de construcción, por ello, con este sistema estas cargas se reducen (Covarrubias, 2012).

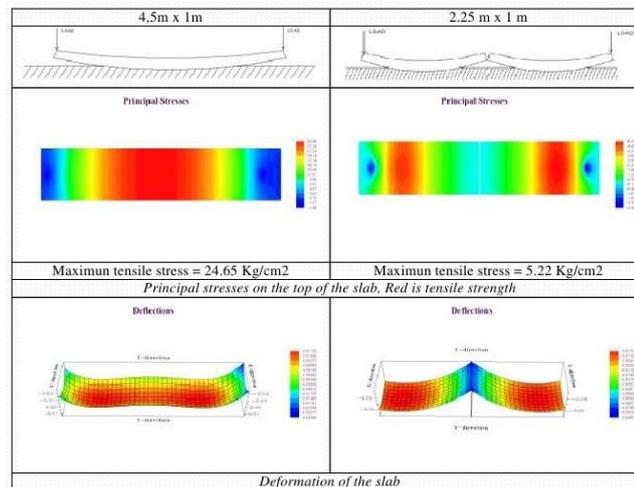


Imagen 4. Comparación de deformaciones de losa larga y corta cargadas por el mismo camión
Fuente. Covarrubias, 2012

Cuando realiza el proceso de alabeo, se deja un voladizo en la mayoría de las ocasiones con un aproximado de 1/3 de su longitud, es por eso que cuando mayor sea la losa, mayor será el voladizo que se puede obtener y lo recomendable es disminuir la dimensión de la losa. Cuando se alabea la losa y también se levanta sus bordes, la base de apoyo es un círculo que depende mucho de la rigidez de la base para formar su dimensión.

Cuando la base se torna muy rígida, la base será pequeña y los voladizos se tornan largos, generando tensiones altas de tracción en la cara superior. Por otro lado, cuando la base es menos rígida, el voladizo será menor y la base será mayor, generando tensiones menores de tracción en la cara superior.

Balanceo. Para lograr un balanceo en el TCP no se debe incorporar fierros en las juntas. Para poder evitar que se desplacen entre ellas se colocan barras de amarre. Se crea un nuevo diseño, un sistema de solución para evitar el desplazamiento que separan las pista y es colocando barras clavadas de manera vertical por la parte externa de las losas que se encuentran en exteriores (Covarrubias, 2005).

El funcionamiento de la losa es como una balanza, provocando la presión de los largos de voladizo en dirección al puesto de las cargas y el punto de sostén.

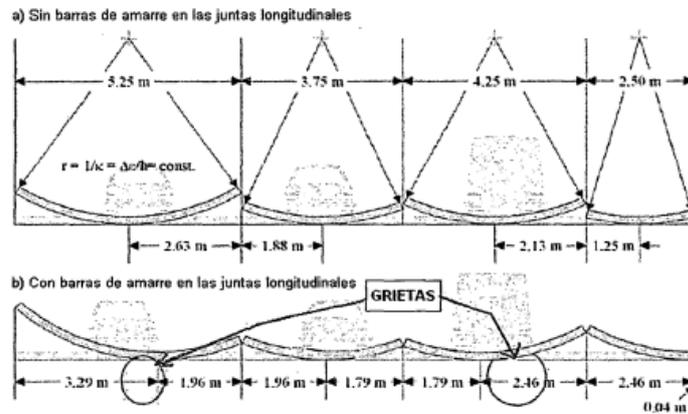


Imagen 5. Comportamiento con barras de amarre
Fuente: Covarrubias, 2005

Configuración de carga para Análisis de Tensiones

La tecnología TCP propone un método de losas que mantiene una geometría mejorada permitiendo una colocación más eficaz, para sustituir las losas de pavimentación tradicional por un método que evite los problemas de agrietamiento. “Para reducir la tensión de tracción superior causada por la carga simultánea de la losa por ejes de dirección, es necesario dimensionar la losa de tal manera que cada rueda, o un conjunto de ruedas, siempre cargue una sola losa diferente” (Covarrubias, J. 2012).

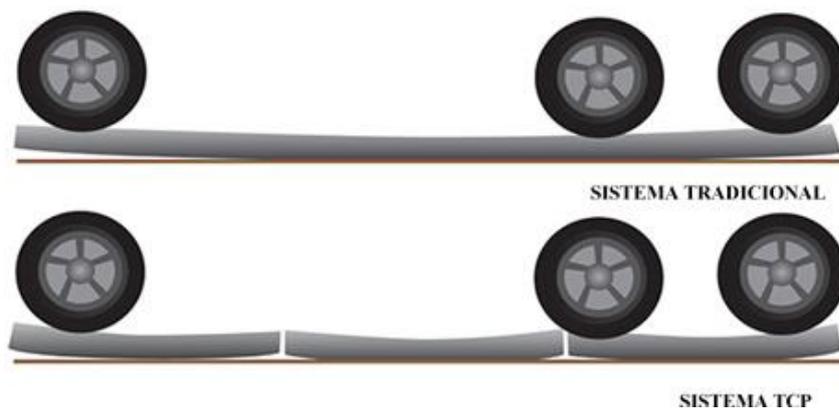


Imagen 6. Sistema de pavimentos
Fuente. TCPavements, s/f

Estos pavimentos son construidos de manera tradicional, con materiales industriales que son usados de manera constante. Este tipo de construcción son elaborados con un personal capacitado para que el resultado final sea de calidad. En las imágenes 7 y 8 se muestra la geometría manejada a manera de losas cortas, las mismas que pueden ser aplicable a distintos tipos de tramos y diferentes usos



Imagen 7. Diseño de losas Logicentro Lo Boza en curva
Fuente: TCPavements, 2011



Imagen 8. Diseño de losas en Centro de Distribución
Fuente. TCPavements, 2012

Metodología de Diseño

El programa OptiPave, permite mejorar el grosor y la geometría de cada losa dependiendo del tipo de clima el tráfico entre otros. Se puede seleccionar la dimensión de la

losa con el fin de que sólo un set de ruedas se encuentra cargando cada losa, normalmente van de 1,4 m hasta 2,5 m. Se calculan la tensión siempre en la parte superior e inferior de la losa.

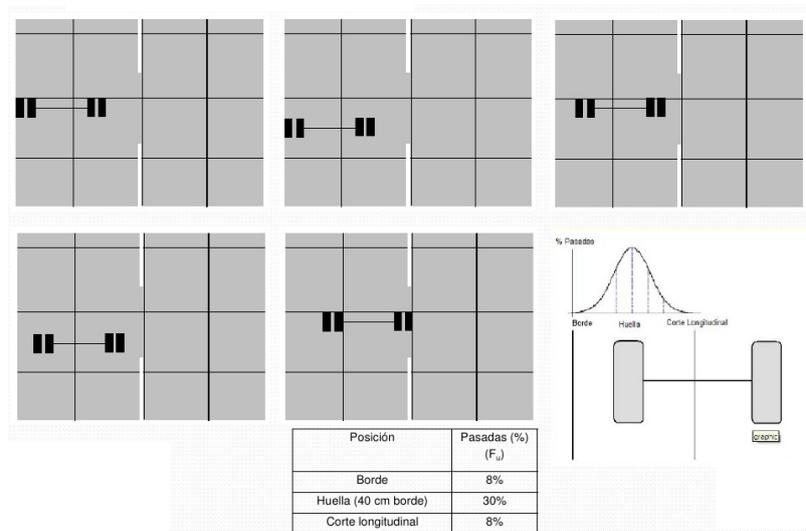


Imagen 9. Posiciones de carga consideradas por las losas como tensiones de tracción críticas
Fuente. TCPavements, 2012

Según el código normas y especificaciones técnicas de obras de pavimentación (MINVU, 2016) y Covarrubias, J. (2012) bajo criterios mecanicistas se puede emplear una metodología que cuantifique:

1. Los parámetros de entrada y análisis como:

- Tráfico
- Largo de losa
- Características del hormigón
- Capacidad del suelo
- Transferencia de carga
- Distribución lateral del tráfico
- Gradientes de temperatura
- Sobrecarga
- Porcentaje máximo de grietas
- Posición de carga
- Condición de alabeo
- Tipo de eje

2. Definir el espesor inicial y el eje para la condición de alabeo.

3. Definir la posición de carga.

4. Definir las condiciones climáticas para el tipo de eje y la condición de carga.
5. Calcular cantidad de pasadas por punto.
6. Determinar tensiones superior e inferior.
7. Determinar pasadas admisibles

F1. Número de pasadas:

F2. Daño de fatiga:

F3. % de losas agrietadas:

$$\text{Log}(N) = 2 * \left(\frac{C_3 * \sigma}{MOR * C_1 * C_2} \right)^{-1.22}$$

$$FD_k = \sum_i \frac{n_{ijk}}{N_{ijk}}$$

$$\%Crack_{kl} = \frac{1}{1 + FD_{kl}^{-1.68}}$$

oí condición de alabeo
 oí condición de carga
 ok Posición Eje

8. Calcular el daño por fatiga.
9. Calcular el número de losas agrietadas.
10. Propuesta de diseño con espesor final.
11. Validación del diseño.

Esta metodología puede seguirse con base en el organigrama detallado a continuación:

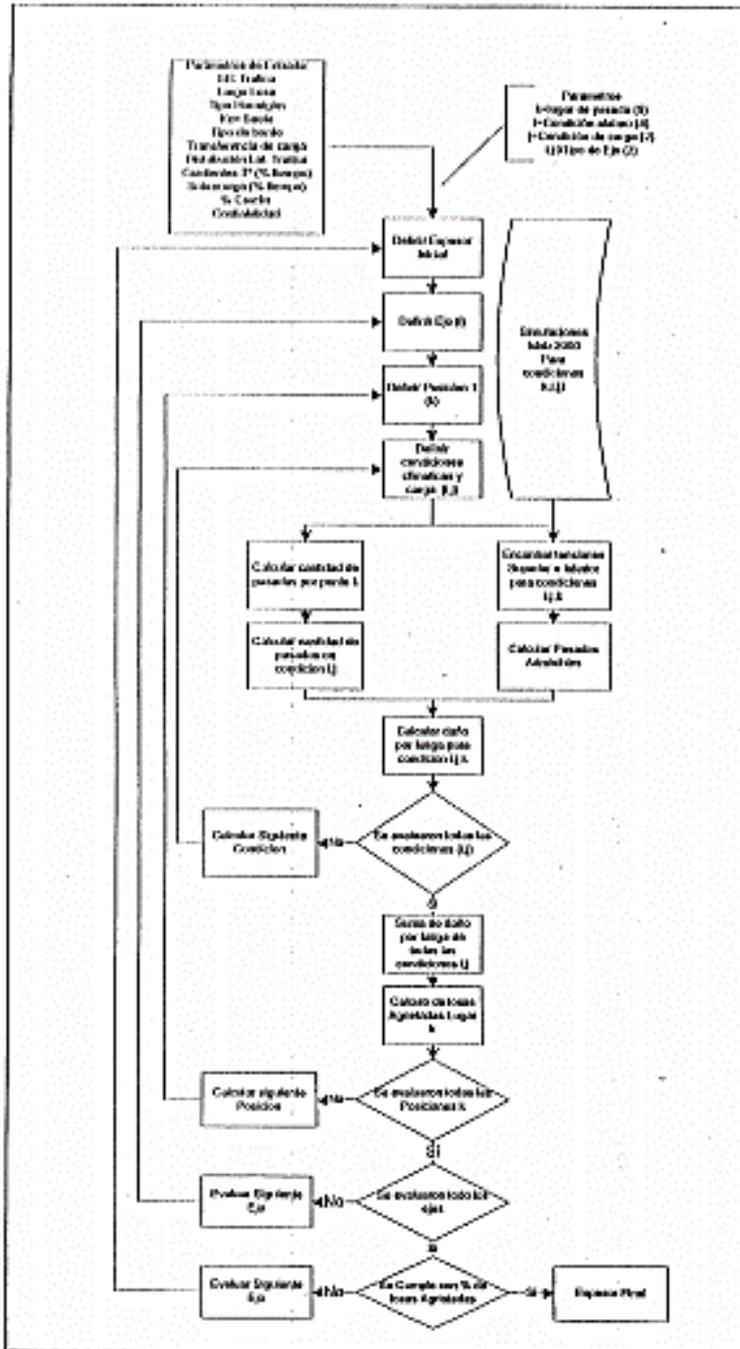


Imagen 10. Metodología de Diseño mecanicista
Fuente: MINVU, 2016

Procedimiento de aplicación

Los procesos detallados a continuación son una recopilación de información obtenida de Covarrubias, J. (2012) y Covarrubias, J. (2005)

- Preparación del terreno.
- Base granular.

- Pavimentos con fibra.
- Geotextil entre sub-rasante y base.
- Tratamiento de juntas.

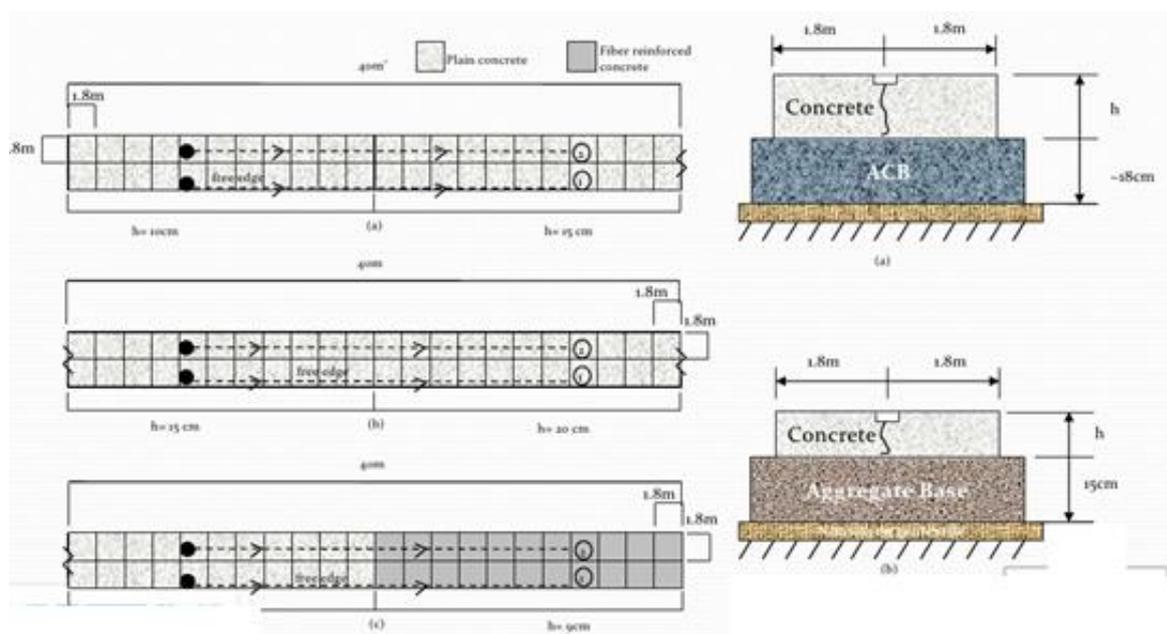


Imagen 11. Secciones construidas
Fuente. Covarrubias, J. (2012)

2.2.2. VÍAS: Diseño de pavimentos rígidos

Para la segunda variable, vías, se ha considerado el libro “Pavimentos: Materiales, construcción y diseño” de Reyes, F & Rondón, H, publicado en enero del 2015, con énfasis en los capítulos 12 y 13 destinados al diseño de pavimentos rígidos. Además, se toma como referente, las imágenes publicadas ICATsur y del IBCH para complemento de la información brindada por los autores mencionados inicialmente.

Se define como pavimento al conjunto de capas percibidos entre el nivel superior de la subrasante y la capa de rodadura, con la función de proporcionar una superficie adecuada de rodamiento semejante.

Losa de concreto hidráulico para pavimentos rígidos

Estos se hallan normalmente en una sub-base, su principal componente es la losa de concreto hidráulico, como se observar en la imagen 12. El concreto puede resistir algunos esfuerzos de tensión. La diferencia entre los pavimentos rígidos y flexibles, se vincula a la

función estructural: Mientras en la primera, la losa de concreto absorbe los esfuerzos producidos por las cargas actuantes, en los pavimentos flexibles, todas las capas que lo componen cumplen una función estructural (Reyes, F & Rondón, H, 2015).

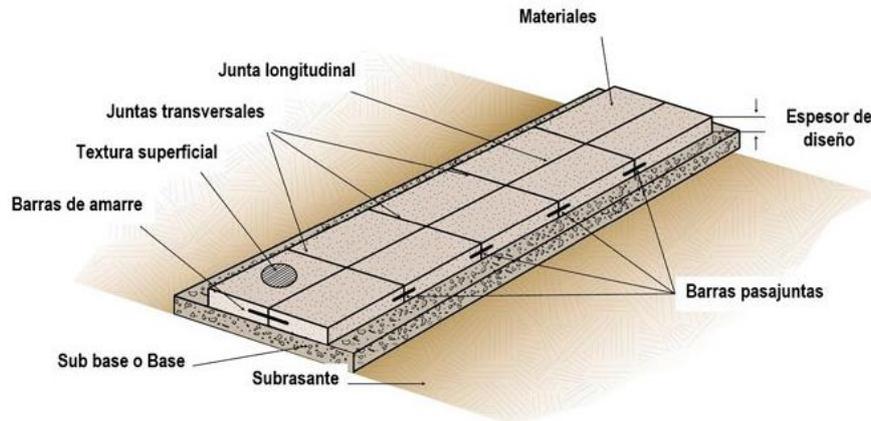


Imagen 12. Pavimentos rígidos
Fuente. ICATsur, 2019

Elementos que conforman la losa

Sub-rasante. Es un soporte natural que es fabricado, que permitir dar un soporte prudentemente igual, sin canjes violentos en el precio soporte donde este se mantenga estable. Es por ello, al momento de realizar la expansión de suelos, se debe tener mucho cuidado (ACPA, 2020).



Imagen 13. Pavimentos rígidos
Fuente. ICATsur, 2019

Sub- base. Es una parte de la estructura del pavimento rígido, se ubica cerca de la sub-rasante y la losa rígida y su función es prevenir los granos al bombear el suelo.

Losa. Está conformado por cemento portland. Es desarrollado para que mantenga aguante y durabilidad.

Para la American Association of State Highway transportation (2008), la estructura de los pavimentos se clasifica, con relación de menor a mayor costo, en los siguientes tipos:

Pavimentos de concreto simple sin pasadores: Este tipo de pavimento es de un costo menor el cual no presenta refuerzo de acero ni elementos que permitan la transferencia de cargas, a través del uso de trabazón (interlock) en donde es necesario el uso de un espaciamiento corto entre las juntas para lograr una transferencia efectiva.

Un ejemplo claro son las calles de las urbanizaciones privadas, pueden variar entre 10 y 17 cm. En carreteras se obtienen espesores de 16 cm.

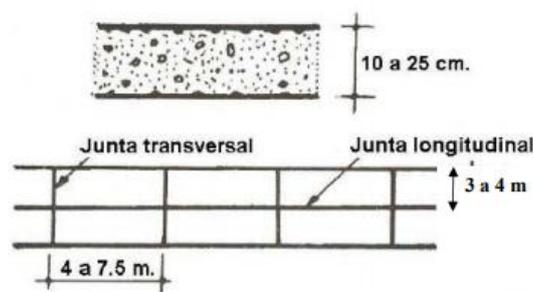


Imagen 14. Pavimentos rígidos
Fuente. ICATsur, 2019

Pavimentos de concreto simple sin pasadores: Los pasadores (dowels) son barras muy pequeñas fabricados de acero liso, estos son colocados en el área perpendicular del pavimento, donde se encuentran ubicados las juntas de contracción, en donde la función estructural permite transmitir las cargas de losa a losa contigua, permitiendo así el mejoramiento de condición a la deformación en las juntas, para evitar así el desplazamiento vertical diferenciado.

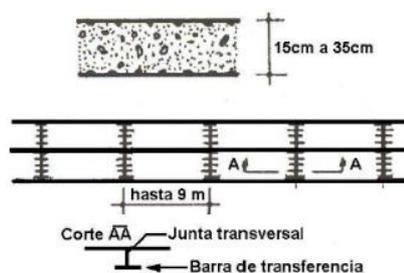


Imagen 15. Pavimentos rígidos
Fuente. ICATsur, 2019

Pavimentos de concreto reforzado con juntas: Mantienen pasadores para lograr el traspaso de carga para las juntas de contracción. Su diseño puede ser en forma de mallas de barras de acero o acero electrosoldado con el objetivo de mantener las grietas y mantenerlos unidos, con el propósito de generar una buena transferencia de cargas y de esta manera permitir que el pavimento se comporte como una unidad estructural. La Armadura de distribución con función estructural, se evidencia en la imagen 16:

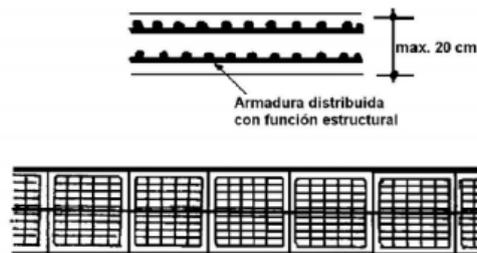


Imagen 16. Pavimentos rígidos
Fuente. ICATsur, 2019

Pavimentos de concreto con refuerzo continuo: Estos pavimentos se construyen sin juntas de contracción, ya que el refuerzo que mantiene puede asumir todas las deformaciones, en especial las de temperatura. El principal refuerzo es el acero longitudinal, el cual se coloca a lo largo de toda la longitud del pavimento. El refuerzo transversal puede no ser requerido para este tipo de pavimentos.

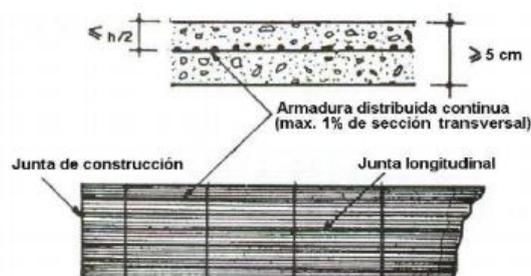


Imagen 17. Pavimentos rígidos
Fuente. ICATsur, 2019

Mecanismos de daño en el diseño de pavimentos rígidos

Para el IBCH (2012), define los términos técnicos empleados para caracterizar los defectos que suceden en los pavimentos rígidos de hormigón de cemento Portland. Se entiende por defecto a las anomalías observadas en el pavimento debido a problemas en la fundación, por mala ejecución o por mal uso del pavimento (IBCH, 2012):

- **Levantamiento de losas.** Desnivel generado que se crea en las juntas o en las fisuras transversales de las losas y en la cercanía de canales de drenaje (IBCH, 2012).

- **Bombeo de finos.** Es la expulsión de finos plásticos que existen en el suelo de fundación de bordes y fisuras por medio de las juntas en el pavimento. Estos son barras de fluido creados por los bombeados que se depositan sobre la superficie, y son identificados por las manchas terrosa a lo largo de las juntas. siendo identificados por la presencia de manchas terrosas a lo largo de las juntas, bordes o fisuras (IBCH, 2012).

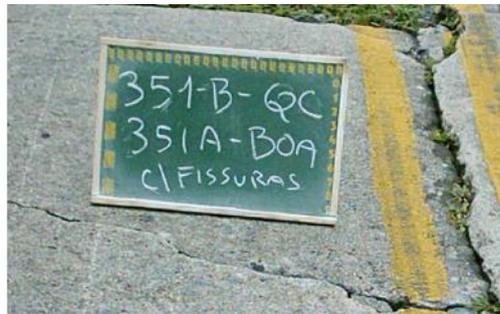


Imagen 18. Levantamiento de losas y bombeo de finos

Fuente. IBCH, 2012

- **Fisuras de esquina.** Se logra interceptar las juntas a una distancia menor o igual a la mitad del largo de los bordes o juntas del pavimento (IBCH, 2012).



Imagen 19. Fisuras de esquina

Fuente. IBCH, 2012

- **Losa dividida.** Presenta la losa fisuras dividiéndola en cuatro o más partes (IBCH, 2012).



Imagen 20. Losa dividida
Fuente. IBCH, 2012

- **Escalonamiento o grada en las juntas.** son desplazamientos verticales diferenciados e intactos entre una losa y su adyacente, en combinación con la junta transversal (IBCH, 2012).
- **Falla del sellante en juntas.** Es una avería en el material sellante que acumula el material incompresible en la junta (IBCH, 2012).



Imagen 21. Escalonamiento y falla de sellante
Fuente. IBCH, 2012

- **Fisuras lineales.** Son fisuras que comprometen todo el espesor de la losa de hormigón, dividiéndose en dos o tres partes. Cuando las fisuras dividen la losa en cuatro o más partes el defecto se conoce como de losa dividida (IBCH, 2012).

Estas figuras son:

- Fisuras transversales.



Imagen 22. Fisuras Transversales
Fuente. IBCH, 2012

- Fisuras longitudinales.



Imagen 23. Figuras longitudinales
Fuente. IBCH, 2012

- Fisuras diagonales.



Imagen 24. Figuras diagonales
Fuente. IBCH, 2012

- **Desgaste superficial.** Se caracteriza por la separación del mortero superficial, creando que los agregados surjan en la superficie del pavimento, manteniendo una superficie pulida a lo largo del tiempo (IBCH, 2012).



Imagen 25. Desgaste superficial
Fuente. IBCH, 2012

- **Roturas localizadas.** Son pequeños pedazos que se encuentran en áreas de las losas mostrando fisuradas y partidas, teniendo formas variadas (IBCH, 2012).



Imagen 26. Roturas localizadas
Fuente. IBCH, 2012

- **Losa suelta o “losa bailarina”.** Son movimiento vertical en la losa y es visible bajo la acción del tráfico, generalmente en la zona de las juntas (IBCH, 2012).

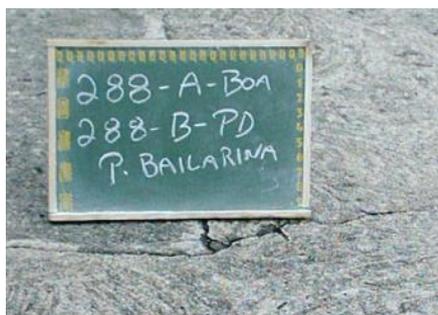


Imagen 27. Losa bailarina
Fuente. IBCH, 2012

- **Fisuras superficiales (cuarteado) y escamado.** ocurre en la superficie de la losa, tienden a interceptarse, formando ángulos de 120° (IBCH, 2012).



Imagen 28. Fisuras superficiales
Fuente. IBCH, 2012

- **Fisuras de retracción plástica.** Son fisuras poco profundas, de pequeña abertura y de largo limitado (IBCH, 2012).



Imagen 29. Roturas localizadas
Fuente. IBCH, 2012

- **Desportillado de juntas.** Es la quiebra de los bordes de la losa de hormigón en las juntas (IBCH, 2012).

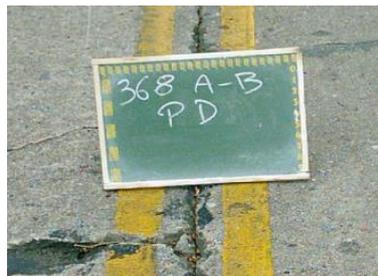


Imagen 30. Desportillado de juntas
Fuente. IBCH, 2012

- **Desportillado o rotura de canto.** aparecen en los bordes de las losas, teniendo forma de cuña (IBCH, 2012).



Imagen 31. Desportillado de rotura
Fuente. IBCH, 2012

- **Asentamiento.** Es el hundimiento del pavimento, estableciendo ondulaciones superficiales (IBCH, 2012).



Imagen 32. Asentamiento
Fuente. IBCH, 2012

- **Huecos o agujeros.** Son huecos cóncavos, observados en la superficie de la losa causada por la pérdida de hormigón en el lugar, presentando área y profundidad bien definida (IBCH, 2012).

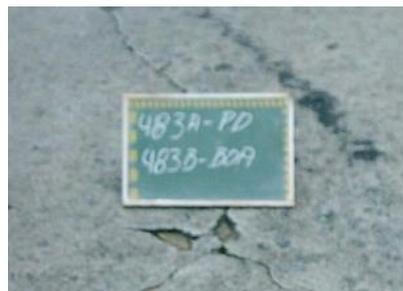


Imagen 33. Huevo
Fuente. IBCH, 2012

Variables de Diseño

En el pavimento rígido se puede analizar diversos factores:

- Condiciones ambientales.
- Tránsito.
- Drenaje.

- Característica del suelo.
- Transferencia de carga.
- Serviciabilidad.
- Confiabilidad

Todos estos factores son necesarios para anunciar un comportamiento confiable de la estructura del pavimento (AASHTO, 1993 & Reyes, F & Rondón, H, 2015).

Condiciones ambientales: Se podría decir que el factor que más afecta al diseño de los pavimentos es el clima, ya que por las lluvias se puede elevar el nivel freático del suelo haciendo que disminuya la resistencia de la capa subrasante, también influye en la etapa constructiva durante la colocación y compactación del pavimento ya que la humedad óptima que posee el asfalto puede ser modificado por las condiciones climáticas severas al igual que los esfuerzos del pavimento rígido.

Tránsito: La información que se necesita para el tráfico se basa en dos puntos que son:

- Estructura para pavimento
- Tramos viales

Los efectos de tránsito son acumulados por los ejes equivalentes durante un tiempo determinado a base del diseño presentando con un previo análisis. Los ejes equivalentes o son más que los deterioros que son causados en el pavimento por cargas de dos ruedas de 8.2 tn de peso, con una llanta que mantiene una presión de 80 lbs/pulg². Existen dos conceptos importantes para lograr una estimación de los ejes simples equivalentes que son:

- **Factor equivalente de carga** mide quien es el encargado de medir los ESALs de 80 KN que provocan la perdida de servicialidad.
- **Factor del camión** enuncia cuales será el tipo de daño entre ejes, se los clasifica por un programa ya sean para los vehículos o camiones.

Drenaje: es factor determinante en la conducta de la estructura del pavimento a lo largo de su tiempo de vida y evitar la estructura se filtre de agua para evitar que cause afectación en la estructura.

Características de los suelos: Se debe conocer el tipo de suelo, sus características generales y el tipo de comportamiento, ya sean con pruebas de laboratorio donde se obtienen resultado para la plasticidad, la compactación de materiales, el valor relativo de soporte y módulo de reacción del suelo.

Tiempo: para el tiempo es muy importante el periodo de análisis y el tiempo de vida del pavimento. En donde el tiempo de vida se refiere cuanto va a transcurrir para poder rehabilitar el, en otras palabras, tiempo de serviacibilidad.

Confiabilidad: es el resultado satisfactorio que el pavimento mantenga la estructura deseada en el tiempo de vida establecido y a su vez se encuentra asociado con las posibles fisuras que pueda presentar el pavimento.

Serviciabilidad: no es más que la conducta del pavimento, con esta conducta se puede analizar la seguridad y la comodidad para los usuarios incluso se puede relacionar que este puede presentar físicamente como el tipo de grieta, peladuras entre otros. El concepto está basado en cinco aspectos:

1. Las carreteras.
2. El confort.
3. La Serviciabilidad.
4. Objetivos de Serviciabilidad.
5. El comportamiento.

Transferencia de carga: no es más que la transferencia de la carga que sería los tipos de losa y a su vez saber cuál será la capacidad del mismo. La efectividad de la transferencia de carga entre las losas adyacentes depende de varios factores:

1. Cantidad de tránsito
2. Utilización de pasa juntas
3. Soporte lateral de losas

2.2.3. VÍAS: Método AASHTO

Generalidades del método de diseño AASHTO

Para Suárez, P. (2021) especialista en carreteras, la AASHTO actual se basa en procedimientos empíricos obtenidos en ensayos de campo que no representan condiciones de pavimentos actuales, puesto que hay una cuantía de factores que tienen gran incidencia en el diseño y no son tomados en cuenta; la magnitud del gasto destinado a la construcción y conservación de pavimentos justifica la búsqueda y aplicación de un mejor procedimiento que permita la optimización de recursos puesto que el método AASHTO resulta muy conservador pero es el más empleado dentro del país.

En el Ecuador, como en varios países del mundo, se emplea el método de la AASHTO-93 que es el diseño de pavimentos rígidos. Este tipo de métodos se han podido desarrollar con ensayos en gran magnitud, en donde se obtuvieron los tipos de ecuaciones que se necesitan, las tablas, las figuras y los nomogramas de manera empírica experimental.

Es por ello la aplicación de diseños y ofertas profesionales que mantienen su tendencia de uso, convirtiéndose en criterios generales del Ministerio de Transportes y Obras Públicas y de los Gobiernos Autónomos Descentralizados para el diseño de carreteras.

Bojorque, et. al (2017) & Suárez, P. (2021) también indican que, la tendencia en la actualidad se dirige hacia el diseño de pavimentos por métodos mecánicos-empíricos como el de la AASHTO 2008, considerando el detalle de las propiedades de los materiales, conceptos teóricos de los esfuerzos e imperfecciones en las capas. Sin embargo, en Ecuador y en otros países latinoamericanos, estos métodos aún no pueden ser empleados por los extensos requerimientos en ensayos de materiales que demandan la utilización de un equipamiento sofisticado. Hasta que en el país cuente con las condiciones necesarias, los métodos de la AASHTO de sistemas empíricos como el 1993 y PCA continuara usando el diseño de carreteras.

Evolución de los procedimientos de diseño AASHTO

Los métodos AASHTO surgieron luego de varios procesos cuyas modificaciones fueron de carácter empírico, a diferencia del AASHTO 2002 que posee un carácter mecanicista

apoyado en la teoría de la elasticidad y en la aplicación de modelos de deterioro de pavimentos.

Entre los procesos evolutivos se detalla:

- 1958-1960: experimentos viales
- 1961: Primera guía de diseño
- 1961-1962: Se ejecuta la guía provisional
- 1972: Se examina la guía provisional
- 1981: Se examina el capítulo III relativo a pavimentos
- 1986: Surge la guía de diseño de estructuras de pavimento
- 1993: Surge la guía de diseño de estructuras de pavimento con el concepto de diseño de sobre capas. (EMPÍRICAS)
- 1998: Se presenta un suplemento para la guía de diseño de estructuras.
- 2002: Fue el comienzo de método Mecánico-Empírico
- 2008: Representa un nuevo enfoque del método empírico-mecanicista.

Metodología de Diseño de Pavimento Rígido AASHTO 93

Esta metodología se creó como una guía provisional para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles, que se basan en los procedimientos de diseño, luego de unos años, se juntaron nuevas consideraciones en donde se pudieron encontrar confiabilidad de diseño, los módulos de elasticidad de la Subrasante y las capas de pavimento, factores ambientales de drenaje y el diseño de tipo empírico.

Para la metodología de diseño para pavimentos rígidos se crea de igual forma que el diseño para pavimentos flexibles, la diferencia que la determinación de una estructura de pavimento es de concreto hidráulico que soporte un número determinado de ejes equivalente y puede mantener condiciones de serviciabilidad, con unos materiales de características específicas (Castro. Et.al, 2020).

El objetivo fundamental de la ecuación de diseño es obtener el espesor de la losa de pavimento rígido mediante la relación matemática entre las variables de diseño (espesor, serviciabilidad, tránsito, transferencia de carga entre losas, propiedades del concreto, resistencia de la subrasante, drenaje, confiabilidad), tal como lo indica la fórmula:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R * S_o + 7.35 * \log_{10}(D+1) - 0.06 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}\right)}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 p_i) * \log_{10} \left[\frac{S_c C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 * J \left(D^{0.75} - \frac{18.42}{\left(\frac{E_c}{K}\right)^{0.25}} \right)} \right]$$

W_{18} : Número previsto de ejes equivalentes de 8.2 ton a lo largo del periodo de diseño

Z_R : Desviación normal estándar

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

D : Espesor del pavimento en plg.

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

P_i : Índice de serviciabilidad final

S_c : Módulo de rotura del concreto en Psi

C_d : Coeficiente de drenaje

J : Coeficiente de transmisión de carga en juntas.

E_c : Módulo de elasticidad del concreto en Psi

2.3. Marco Conceptual

Ahuellamiento: son huellas que aparecen en la superficie de rodadura de una carretera ya sea pavimentada o no llegando a ser el resultado de la consolidación de materiales para efectos del tránsito.

Bacheo: es el mantenimiento rutinario que va desde rellenar y compactar los baches.

BEC: es la Piedra Base estabilizada con cemento, que debe mantener un mínimo del 4% de mezcla de cemento para cumplir los esquemas de base clase A.

Berma: es una franja longitudinal y es utilizada para la seguridad de los estacionamientos de vehículos si presenta algún tipo de emergencia.

Calicata: Es cuando se procede a excavar la superficie en un terreno seleccionado en donde se podrá analizar cuáles serán los estratos que presenta el suelo en su profundidad y obtener muestras claras de disturbas.

Cemento portland-Tipos: Dentro de los tipos de cementos se obtiene:

1. Cementos generales en la construcción.
2. Resistencia moderada a la acción de los sulfatos y un moderado calor de hidratación;
3. Alta resistencia inicial
4. Bajo calor de hidratación
5. Alta resistencia a los sulfatos.

Compactación: Reduce los vacíos del suelo, las mezclas bituminosas, morteros entre otros que son realizados por el cemento Portland.

Cono de Abrams: No es más que trunco de metal no atacable para la pasta del cemento, y poder medir la constitución de la mezcla de concreto fresco.

Contenido de humedad: Determina cual será la cantidad de agua que se usará en una materia con las condiciones especificadas.

Curado de concreto: Controla las condiciones ambientales durante el proceso de endurecimiento del concreto

Geotextil: Material de construcción sintético u orgánico que existe en grandes variedades y tienen una amplia gama de aplicaciones en obras viales.

Junta transversal de retracción: Es el que puede contralar las fisuras por las contracciones del hormigón.

Juntas de expansión: Se usan en cruces asimétricos, de ancho esencialmente variable, tales como encuentros con puentes, pasos a desnivel, edificios y otros.

Pasa juntas o Dowels: Llamados también pasadores o dovelas, es un sistema de varillas cuya finalidad es transferir las cargas en las juntas de los pavimentos de concretos

Replanteo topográfico: Es la acción de controlar un proyecto desde el comienzo hasta su final.

Sello de juntas: Evita el filtro de agua y de otros materiales en las juntas.

Transferencia de carga: Son dos fuerzas opuestas aplicadas en diferentes puntos, a lo largo de cualquier junta del pavimento es conveniente que haya transferencia de carga con losas adyacentes. Se suelen emplear barras de amarre, también llamadas pasadores o dovelas.

Volumen de tránsito: es la cantidad de vehículos que pasan de un lugar a otro en un tiempo determinado.

2.4. Marco Legal

- Constitución de la República del Ecuador – Art. 375 donde el estado garantiza el derecho al hábitat y a la vivienda con el acceso a diferentes espacios por medio de vías.
- Plan Nacional Toda una vida (2017 – 2021). – El estudio se encuentra alineado al plan por medio del eje 1. Derecho de todos durante la vida, con el objetivo 1. de garantizar una vida digna con iguales posibilidades a todas las personas para fortalecer el acceso y mejorar la calidad de los servicios; mientras que en el eje 2. Economía al servicio de la sociedad, se alinea al objetivo 5. Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico.
 - Ley orgánica de la educación superior
 - Reglamentos de la Universidad Laica Vicente Rocafuerte
 - MINVU - Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación 2016 – Esta norma recopila prácticas recomendadas de diseño y ejecución de los proyectos de pavimentación y obras de urbanización, a nivel nacional, incorporando nuevas técnicas y tecnologías constructivas asociadas a este tipo de infraestructura, así como también de la normativa que las regula, principalmente en materia de diseño y especificación de materiales. Desde el Art.2.2 al 2.9, Desde el Art. 3.4 al 4.8, Desde el 7.1 al 8.4 que hablan de la preparación del terreno y restauración del pavimento, Art.9.4 tipos de fallas y tratamientos, desde 12.1 al 14.6 que habla sobre la mecánica del suelo, estudio de tránsito y diseño estructural del hormigón.

- MOP - Método de Diseño de Pavimentos de Hormigón con Losas de Espesor optimizado
- MTOP - Manual de pavimentos rígidos, 2012 Tomo 2. Norma para pavimentos rígidos (IBCH) – Este manual define la metodología a ser adoptada en la definición y selección de materiales destinados al sellado de juntas de pavimentos rígidos de hormigón de cemento Portland, utilizados en carreteras. Son también presentados los requisitos concernientes a las condiciones generales, específicas y los criterios para la aceptación y rechazo de los materiales.
- MTOP (2013) Norma Vial NEVI-12- MTOP. Procedimientos de operación y seguridad vial. Volumen 1. Tomado – Esta ley se enfoca en Procedimiento para proyectos viales / Enfoque y metodología para el desarrollo de procesos viales.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Metodología

Para Hernández-Sampieri, R. & Torres, C. (2018), la investigación deductiva es aquella que va de lo general a lo particular como una forma de razonar o explicar la realidad, en la que se establece conclusiones desde las generalizaciones, de las leyes y teoría a los datos; mientras que la investigación inductiva es aquella que analiza de lo particular a lo general, de los datos a las generalizaciones y admite subjetividad por ser la base de un enfoque cualitativo. Por lo tanto, la metodología aplicada para este proyecto es de carácter deductivo, ya que se basa en el análisis del sector para identificar las propiedades del suelo; además, a través de una revisión bibliográfica y estudio de campo, se plantea identificar las características que conlleven a generar la línea base de optimización de los pavimentos TCP para la zona de intervención.

3.2. Tipo de investigación

Investigación documental.

Este tipo de investigación se apoya en fuentes de carácter documental como libros, artículos de publicaciones periódicas, revistas, tesis, actas de congresos, etc. (Hernández-Sampieri, R. & Torres, C., 2018)

Investigación Descriptiva con diseño de campo

La función de una investigación descriptiva es la recopilación de datos relevantes del objeto a investigar, lo cual hace necesario de parámetros que permitan determinar cuáles variables entran en este proceso (Hernández-Sampieri, R. & Torres, C., 2018). Dado que la descripción se la va a realizar a partir de los datos recabados en campo para la recopilación de información, se la ha denominado **investigación descriptiva con diseño de campo**.

3.3. Enfoque de la investigación

Para Hernández-Sampieri, R. & Torres, C. (2018), un enfoque cuantitativo es aquel que brinda planteamientos acotados, mide fenómenos y utiliza instrumentos de medición para una generalización de los resultados; debido a que los datos son producto de mediciones, se representan mediante números (cantidades) y se deben analizar con métodos estadísticos, en

este caso el estudio se apoyará con matrices y gráficos de análisis visual con sistemas de información geográfica. Por ello, para la presente propuesta se utilizará el enfoque *cuantitativo* para recopilar datos numéricos con base en los resultados de aplicación del diseño en la zona de estudio, tanto para las características del suelo como para el pavimento de concreto.

3.4. Técnicas e Instrumentos

Análisis documental

Es una técnica que buscan describir y representar los documentos de forma unificada sistemática para facilitar su recuperación. Comprende el procesamiento analítico- sintético. (Hernández et al., p. ,2018). Esta técnica se consideró para el proceso de obtención de parámetros de diseño del pavimento mediante la Metodología TCP. Así mismo, para el desarrollo de los procedimientos a seguir para los diferentes ensayos realizados en el Laboratorio de Mecánico de Suelos, para la clasificación del suelo.

Observación Directa

Es una técnica óptima para investigaciones descriptivas, en el cual el investigador atestigua los hechos sin demostrar juicios de valor o algún tipo de manipulación en el objeto de investigación. Para trabajos preliminares o exploratorios, su uso es indispensable debido al desconocimiento del fenómeno o características del nuevo proyecto (Hernández-Sampieri, R. & Torres, C., 2018). De esta manera se plantea obtener información relevante para la caracterización del TCP en la zona de estudio.

Instrumentos

Como parte de los instrumentos para la recopilación de información, se tomará en cuenta:

- Cámara fotográfica: Para capturar el proceso de aplicación del pavimento en las vías de acceso a bodegas.
- Libretas de anotación: Para hacer seguimiento de los datos numéricos obtenidos y de las fallas del proceso de construcción sobre la losa.
- Resultados de pruebas de laboratorio: Estos resultados permitirán validar la información recabada sobre el suelo y su densidad

- Checklist del proceso: Toma como referente el cumplimiento de los procesos y que los materiales y equipos sean los aptos para la ejecución.

3.5. Población y muestra

La población es el conjunto de todos los elementos que concuerdan con una serie de determinaciones. (Hernández-Sampieri, R. & Torres, C., 2018); para este caso la población a utilizarse será la vía de acceso a las bodegas de Almax III, realizada con pavimento rígido optimizado, ubicadas en el kilómetro 14.5 de la vía Miguel Yúnez, Samborondón-Ecuador.

En cuanto a la muestra debido a que es muy pequeña se tomará como muestra la misma población: una vía de acceso a la bodega de Almax III, realizada con pavimento rígido optimizado, ubicada en el kilómetro 14.5 de la vía Miguel Yúnez, Samborondón-Ecuador, puesto que Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, R., & Baptista-Lucio, P. (2017) indican que, si la población es pequeña, la muestra es igual a la población.

3.6. Análisis de resultados

Como punto de partida, se realiza el reconocimiento del terreno juntamente con los técnicos para su posterior señalización topográfica y preparación, luego, se toman las densidades para comprobar que el terreno esté compactado y que el suelo cumpla con los parámetros establecidos de acuerdo a la normativa. Una vez que se tenga la información preliminar, pasa al diseño geométrico del pavimento rígido optimizado (TCP), con estos datos, se procede al envío de material de base clase A y se comienza a vaciar en el punto de implementación.

Luego, con una motoniveladora, se comienza a realizar el tendido del material y con la ayuda del topógrafo se verifica que los niveles de tendido sea el correcto para evitar puntos altos y bajos; con esto, se pasa a la colocación de la base estabilizada con cemento y luego a hidratar y compactar. Cuando este proceso finalizado, se toma nuevamente las densidades para evitar hundimientos en el futuro y proceder al encofrado y fundición del TCP.

Para finalizar, se realizar el corte de paños y se verifica que no existan defectos de pavimentos; en caso de existir, se realizan las respectivas correcciones y luego se procede a cubrir el pavimento con plástico por una semana. La apertura al tránsito de esta vía, se la realiza luego de 28 días para que el hormigón culmine con su proceso de fraguado.

CAPÍTULO IV

INFORME FINAL

4.1. Localización de la zona de estudio

Para el desarrollo de este estudio, se toma como referencia a las bodegas proyectadas en el km 14.5 de la Av. Miguel Yúnez, tal como se muestra en la imagen x. Esta zona de intervención proyecta recibir cargas medianas y pesadas ya que la intersección formada por esta avenida y el PAN, tiene aportaciones de tráfico intenso; especialmente por flujo de camiones y buses que se dirigen a Guayaquil y a la cabecera cantonal de Samborondón.



Imagen 34. Ubicación del terreno
Fuente. Google Maps (2021)
Elaborado por: Pozo, C. (2021)

El Cantón Samborondón está dentro de la región Litoral del Ecuador, situado en Provincia del Guayas, dentro de la Zona 8 de planificación. Se la considera como una zona biogeográfica del Pacífico Tropical Oriente ya que está rodeada de dos grandes sistemas hídricos como son el Río Babahoyo y el Río Daule que desembocan en el Río Guayas. Tiene una superficie de 389,05 Km² y una población de 67.590 habitantes según el censo 2010. Limita al Norte con el Cantón Salitre, al Sur con los Cantones Guayaquil y Durán, al Este con el Cantón San Jacinto de Yaguachi y al Oeste con el Cantón Daule, según los datos del PDOT (2012-2022)

Es propósito de esta tesis detallar cada uno de los parámetros de estudio para su caracterización, de manera que sirvan como una guía de procesos básicos para la implementación y diseño de pavimentos de concreto de delgado (TCP) en vías destinadas para el acceso a bodegas dentro de esta zona.

4.2. Caracterización sobre el tratamiento del suelo

Para el objetivo específico 1. Determinar las características mecánicas y propiedades físicas del suelo en la zona de estudio, se procede a considerar los siguientes análisis: humedad-densidad, la densidad máxima de laboratorio de acuerdo al método de ensayo, AASHO T-180, método D, con la modificación permitida en cuanto al reemplazo de material retenido en el tamiz de 3/4" (19.0 mm.), por material retenido en el número 4 (4.75 mm.). Los ensayos de granulometría, límites "ATERBERG", valor soporte (CBR).

Dentro de la zona de estudio se ha identificado los siguientes valores, otorgados por Ingesuelos Cia. Ltda (2021).

Tabla 2.

Caracterización del tipo de suelo

Tipo de suelo	Tratamiento	Material	METODO	% Hinchamiento	CBR (100%)	CBR (95%)
Limo-arcilloso	Relleno	Grava color algo café con pintas de óxido. Finos arcillo limosos medianamente plásticos	AASHTO T-180	1.02	34.89	26.78

Fuente: Ingesuelos (2021)

Elaborado por: Pozo, C. (2021)

Para conocer los valores de la densidad de suelos limo arcilloso, se han ejecutado ensayos de compactación para establecer la relación entre el peso unitario seco y el contenido de humedad gravi-métrica. Para ello se emplea un Proctor. Como resultado se obtiene que la humedad de compactación óptima es de 8.70% y la densidad de 2128 kg/m³, tal como se muestra en la imagen x.

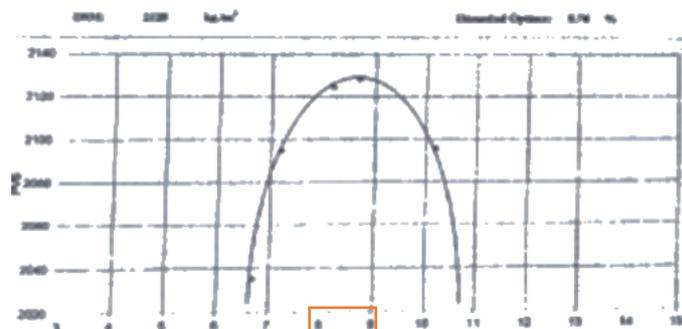


Imagen 35. Relación humedad compactación
Fuete: Ingesuelos. Cia. Ltda (2021)

Ante la presencia de suelos limo arcillosos, se debe realizar una mejora a través de la compactación e incorporación de material granular o estabilizador, el material de base granular fino debe pasar por el tamiz de 75 μm , ser menor al 8% y debe tener un índice CBR mayor a 50%. Para la identificación de mejoras a nivel de compactación, se realiza una simulación aplicada en QGIS, para identificar visualmente aquellas zonas que poseen valores menores al 8.70% de la humedad para determinar el tratamiento necesario.



Imagen 36. Rangos de humedad
Elaborado por: Pozo, C. (2021)

Las zonas de compactación, es otro de los componentes que deben ser caracterizados. Para esto se debe identificar la sección de suelos que poseen menos del 95% de rango de compactación para poder darle el tratamiento necesario. En el caso de la construcción de vías, este aspecto es importante ya que de ello depende la estabilidad de la base y su resistencia ante hundimientos. En la imagen x, se evidencia que aproximadamente el 25% del terreno requiere de mayor atención, esto se evidencia en las zonas de amarillo, las cuales indican que el suelo debe ser mejorado a nivel de compactación para la colocación de la base del pavimento. Probablemente el resultado de estos datos se refleja en este sentido, por su proximidad a zonas erosionadas por la falta de vegetación que contenga la estabilidad de los suelos.



*Imagen 37. Rangos de Compactación
Elaborado por: Pozo, C. (2021)*

Para los terrenos que contemplen la construcción de bodegas dentro de esta zona, debe prestar total atención a la toma de muestras de los suelos, puesto que existe mucha variabilidad con respecto a la humedad y esto puede reflejar resultados denominados como “falsos positivos”; es decir, que muestre valores idóneos para la colocación de la base, sin embargo, al momento de la construcción de la base, se pueden presentar señales de alerta en la estructura del suelo que puede provocar resultados no deseados, con ello la pérdida del hormigonado inicial y la toma de nuevas muestras hasta encontrar las densidades deseadas.

4.3. Caracterización del Proceso Constructivo

Para el objetivo 2. Describir el proceso constructivo del pavimento rígido optimizado TCP en las vías de acceso a bodegas, se detallan tres componentes principales: la metodología empleada, el diseño y la construcción.

4.3.1. Caracterización metodológica del TCP

El diseño y el proceso del TCP incorpora una visión diferente de los métodos empíricos tradicionales que promueve la AASHTO 93. La metodología TCP adhiere una visión mecanicista, puesto que consideran los espectros de carga como una variable de análisis en lugar de proyectar solo los ejes equivalentes; es decir, contempla variables multifuncionales que analizan el peso del vehículo y la frecuencia con la que se presentan estas magnitudes sobre la base, en lugar de cuantificar las “pasadas” que hace un vehículo. En la tabla 3., se puede observar que, de la metodología más empleada en Ecuador (AASHTO 93), el TCP, guarda

mucha relación con el resto de variables, sin embargo, mientras el AASHTO representa una metodología más fácil y flexible, el TCP ofrece mayor precisión y caracterización del tráfico mediano-pesado, permite diseñar y revisar la capacidad estructural de un pavimento; además, el uso del espectro de carga permite adaptar de mejor manera el diseño a las nuevas tendencias o innovaciones técnicas en cuanto a la configuración de ejes sobre los cuales se soporta.

Tabla 3.

Análisis comparativo entre las propiedades del hormigón rígido TCP y uno tradicional de acuerdo a la AASHTO 93

CARACTER	PARAMETRO	TCP	AASHTO 93
DISEÑO	Vida del diseño/útil	X	X
	Largo de losa	X	-
	Espesor de losa	X	X
	Tipo de borde	X	X
	IRI inicial-final	X	X
	% de agrietamiento (ttcracks)	X	X
	Escalonamiento	X	X
	Confiabilidad (R%)	X	X
	Coef. de Transmisión de carga	-	X
	Coeficiente de drenaje	X	X
TRAFICO	Ejes Equivalentes	-	X
	Espectro de carga	X	-
	Tasa de crecimiento	X	-
HORMIGON	Resistencia a la flexo-tracción	X	-
	Confiabilidad de la mezcla	X	X
	Desviación Estándar de diseño (Zr)	X	X
	Aumento de la resistencia	X	-
	Módulo de elasticidad (Ec)	X	X
	Peso del hormigón	X	X
	Módulo de Poisson	X	-
	Coeficiente de expansión térmico	X	X
	Retracción del concreto	X	X
	Servicialidad ΔPSI	-	X
	Módulo de rotura	X	X
Modulo efectivo de reacción de la sub-rasante	-	X	
SUELO	CBR (presión)	X	X
	Clasificación de suelo	X	X
CLIMA	Clima	X	X
	Gradiente de construcción	X	-
	Temperatura	X	X
CONSTRUCCIÓN	Sub-base	X	X
	Geotextil	X	X
	Base	X	X
	Dowels	X	X
	Bermas	X	X

Elaborado por: Pozo, C. (2021)

4.3.2. Diseño geométrico

Para el diseño, se detallan los parámetros de diseño empleados en el diseño del Pavimento TCP a través de la herramienta digital OPTIPAVE 2.0.2, ya que esta metodología se encuentra patentada. Por tal motivo, se incide en la descripción de 5 categorías que pueden aplicarse a la zona:

- A. Parámetros del Tipo de Pavimento
- B. Parámetros del Tráfico
- C. Propiedades del Hormigón
- D. Parámetros del Suelo
- E. Clima

A. Parámetros de Diseño del Tipo de Pavimento

Vida del diseño: Se debe tomar en consideración la clasificación de las vías que dan acceso a bodegas, dando una vida de diseño de 20-40 años en función del cálculo de espectro de cargas que reciben las bodegas y no por ejes equivalentes; esta vida puede reducirse a 15-20 años para rutas locales y calles.

Largo de losa: El largo de la losa puede calcularse entre 1,20m a 2,50m; en caso de tener tráfico en múltiples direcciones (intersecciones o pavimentos industriales), para evitar que más de un set de ruedas cargue la losa de forma diagonal. Para este proyecto se empleó un largo de losa de 1,86 m, pese a que el Covarrubias, J. (2012), recomienda losas cuadradas de 1,75 metros dada la posición de las cargas

Espesor de losa: Se expresa en milímetros y puede ir de 40mm a 250mm, según el diseño de las cargas.

Tipo de borde: El tipo de borde dependerá del requerimiento y la necesidad. Para esto existen 4 opciones:

- Borde Libre, que no necesita soporte de la estructura ni aleja el tráfico del borde.
- La berma granular, que posee un soporte muy leve.
- La Berma de hormigón, con un soporte leve a la estructura.
- Vereda, con soporte mediano a la estructura y aleja al tráfico del borde.

IRI inicial de diseño: Este índice mide el estado de la vía, para ello los valores recomendables son entre 1,5 y 2,0, sin embargo, el valor máximo recomendado según el creador de este sistema, es de 1,8 m/km.

Porcentaje de Losas Agrietadas: El nivel de daño máximo admisible depende de la función de la vía, para este caso, se ha tomado como porcentaje máximo admisible a las vías de mediano tráfico $<15 \cdot 10^6$ ESALS entre el 10-30%; a pesar de que, si las bodegas se encuentran con acceso a rutas locales y calles, su valor puede variar entre el 30-50%

IRI final de diseño: Representa el índice de rugosidad máximo admisible para el pavimento. El valor máximo permitido y empleado es de 3,5 m/km.

Escalonamiento Promedio Final: Se emplea un escalonamiento de 5mm, es decir, su máximo permisible.

Confiabilidad: Representa el nivel de confianza de la distribución normal (Z_r) y la desviación normal del error combinado (S_e) de todos los parámetros que intervienen en el comportamiento del pavimento. Según la clasificación de la vía pueden emplearse del 80-95% en vías de este tipo si se encuentran en vías urbanas y del 75-90% en vías rurales, aunque de acuerdo al tipo de tránsito los valores pueden sumar un 5% adicional para cada caso.

B. Parámetros de Diseño del Tráfico

Tráfico: Esta metodología trabaja por espectro de carga y no por ejes equivalentes; para esto se debe tener en cuenta la cantidad de vehículos y/o el peso de los de los mimos, de acuerdo a su circulación por el pavimento desde la apertura al tráfico hasta el final de la vida de diseño.

Tasa de Crecimiento: Se calcula con base al crecimiento anual promedio del tráfico que experimentará el pavimento durante su vida, el cual tiene un valor de 3% de tasa de crecimiento.

C. Propiedades del Hormigón

Resistencia del Concreto: La resistencia a la comprensión para este tipo de vías es de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Confiabilidad de la mezcla de concreto: La confiabilidad recomendada por la metodología TCP es del 80%.

Desviación Estándar de Diseño del Concreto Este criterio calcula la desviación que tiene el proceso de fabricación del hormigón. Por ello, se recomienda un valor de 0,4 Mpa.

Aumento de la Resistencia: Corresponde al incremento porcentual en la resistencia a la Flexotracción que ocurre desde el día 28 al día 90 en las losas de hormigón. El valor de este depende de cada mezcla aplicada; sin embargo, se recomienda emplear un valor de 1.1 o 10%.

Módulo de Elasticidad del Concreto Se emplea la siguiente fórmula

$$E_c = 57.600 * \sqrt{f'_c}$$

Dónde:

E_c : Módulo de Elasticidad (Psi)

f'_c : Resistencia a la Compresión Cilíndrica (Psi)

Peso específico del Hormigón: Se recomienda un valor de 2.400 Kg/m³. Este criterio analiza el peso de la mezcla de hormigón por unidad de volumen.

Módulo de Poisson: Su valor por defecto es de 0,15 y varía entre 0,1 y 0,25. El módulo es la razón entre la deformación unitaria lateral y axial, causada por una carga en el sentido axial.

Coefficiente de Expansión Térmico: Se pueden emplear valores de $1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ recomendado por la guía Optipave 2.0.2. Este valor varía según los datos determinados por los ensayos. Este coeficiente representa la medida de la expansión o contracción de un material al ser sometido a cambios de temperatura.

Retracción del Concreto a 365 días: Por defecto la Retracción a los 365 días, se estima un aumento del 30% al valor final.

D. Propiedades del Suelo

Suelo: CBR: 10.20% 35. Para este parámetro es importante identificar el tipo de suelo dentro de la zona, de manera que se pueda seleccionar adecuadamente los rangos para el diseño. El realizar una identificación superficial puede comprometer los resultados de implementación.

Clasificación: AASHTO: A-2-6

E. Propiedades del Clima

Clima: Cálido Húmedo

Gradiente de construcción: 3%

Temperatura media anual: 31 °C - 24 °C.

La información de este apartado puede tomar como referente instituciones que otorguen información basada en los cálculos de predicciones tales como la INOCAR o Weather Spark, cuyo cálculo se realiza usando fórmulas astronómicas del libro *Astronomical Algorithms*, 2ª edición, cuyos resultados se reflejan a continuación:

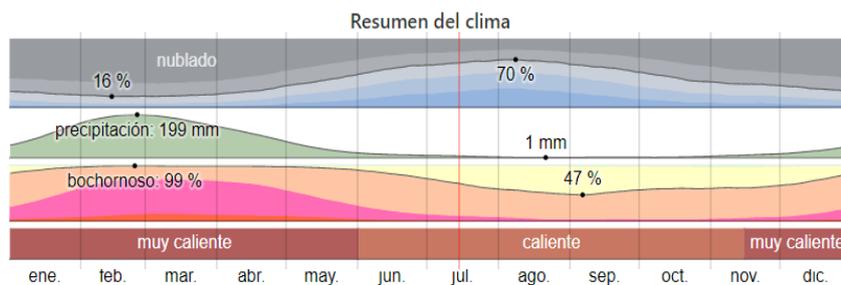


Imagen 38. Resumen del clima

Fuente: Weather Spark (2021)

4.3.3. Construcción

Señalización

Al comenzar la actividad de campo se deberá colocar la respectiva señalización y cerramiento según las especificaciones y donde sea necesario para evitar inconvenientes dentro del tiempo destinado a la construcción.

Valoración: suma global



Imagen 39. Señalización de área
Elaborado por: Pozo, C. (2021)

Limpieza, desbroce y preparación del terreno

Para proceder a la limpieza del terreno, se debe retirar la capa vegetal existente junto a sus raíces, así como también cualquier otro material de construcción a través del derrocamiento o desmantelamiento, de obstáculos y otras construcciones. Los trabajos de derrocamiento pueden incluir procesos de separación de materiales aprovechables. En el caso de que existan alcantarillas u otros sistemas de drenaje, deberán ser intervenidas. Si se encuentran en servicio no deberán removerse hasta que se haya realizado el proceso necesario para facilitar el tránsito y el desagüe adecuado. En el caso de existir zanjas, fosas y hoyos, se limpiarán, emparejarán o rellenarán de acuerdo a las disposiciones especiales.



Imagen 40. Limpieza y desbroce
Elaborado por: Pozo, C. (2021)

Movimientos de tierra

Previo a este proceso se deben colocar la señalización por niveles a través de los niveles y coordenadas topográficas, de manera que se realice el trazado vial y se identifique las áreas que requieren de intervención. El movimiento de tierra consiste en la excavación, transporte, desecho, colocación, manipuleo, humedecimiento y compactación del material que requiera ser tratado. Todo el material aprovechable de las excavaciones será utilizado en la construcción de terraplenes, diques y otros rellenos, según lo indique el personal técnico.



Imagen 41. Señalización por niveles
Elaborado por: Pozo, C. (2021)



Imagen 42. Movimiento de tierra
Elaborado por: Pozo, C. (2021)

Mejoramiento de material y subrasante

En el caso de las zonas de construcción se aplicará relleno, mientras que en las áreas destinadas a vías se coloca un mejoramiento de 0.30m de piedra gruesa, luego se coloca relleno de material fino y luego una tercera de material grueso. Estos valores están supeditados al diseño vial proyectado. Para el mejoramiento es necesario que previo a la ejecución se realice la toma de muestras para que el laboratorio certifique el material es el idóneo para su implementación en la vía.

Valoración: metros cúbicos



Imagen 43. Toma de muestras
Elaborado por: Pozo, C. (2021)



Imagen 44. Mejoramiento del suelo
Elaborado por: Pozo, C. (2021)

Sub-Base

Se procede a colocar una base clase 1 de 0.10m a 0.30m. construida por agregados gruesos y finos triturados a un 100%, para este estudio, se dispuso una base estabilizada de 0,20m; este material se tiende en la zona de intervención con una motoniveladora que debe controlar el límite de distribución para no desperdiciar material, luego se coloca un 5% de cemento para luego mezclarlo con la base mediante equipo pesado (mezcladora). Finalmente se hidrata y se compacta con rodillo de 10 Ton para luego volver a tomar las muestras de densidades y validar que no existan fallas que puedan provocar hundimientos.

Valoración: metros cúbicos



Imagen 45. Colocación de sub-base
Elaborado por: Pozo, C. (2021)



Imagen 46. Estabilización con cemento
Elaborado por. Pozo, C. (2021)

Impermeabilización y revestimiento de suelo con geotextil

Una vez terminada la subbase, entre ésta y la base, se coloca una geo membrana de fibra sintética (geotextil). La función será la protección e impermeabilización de los suelos debido a su baja permeabilidad.

Valoración: metros lineales



Imagen 47. Colocación de geotextil
Elaborado por. Pozo, C. (2021)

Drenaje de Aguas Lluvias

Para el drenaje de aguas lluvias se coloca una canaleta central construida con el mismo hormigón con el que se construirá la vía. Para ello, se coloca el encofrado, luego el armado de hierro al interior de la canaleta; luego se realiza un vaciado directo desde el mixer y con un

vibrador se llenan los espacios vacíos del hormigón. Con un molde metálico de madera, se da la forma cóncava a la canaleta y finalmente para el acabado se emplea una regla de aluminio.

Valoración: metros lineales

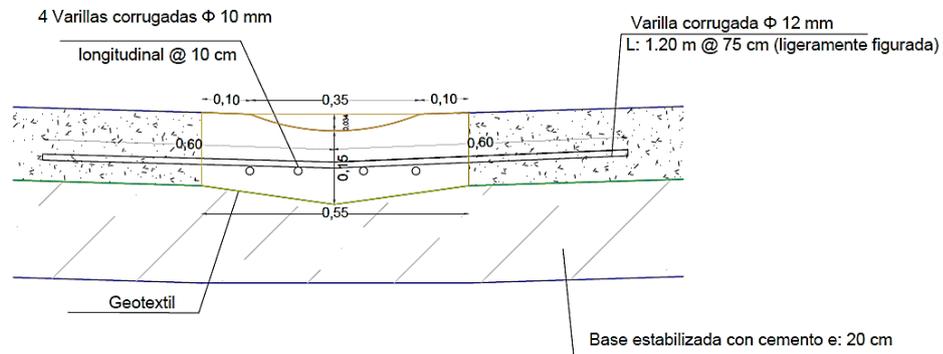


Imagen 48. Detalle de cuneta
Elaborado por: Pozo, C. (2021)



Imagen 49. Fundido de cuneta
Elaborado por: Pozo, C. (2021)



*Imagen 50. Moldeo de cuneta
Elaborado por: Pozo, C. (2021)*

Base- losa de TCP

Para la fundición de losas se emplea el mismo procedimiento tradicional con mixer y cuadrilla para el vaciado y tendido del hormigón. La diferencia entre el TCP y la losa de hormigón rígida, es el corte de las juntas para el diseño geométrico de la vía y que la vibración se la realiza con dos tipos diferentes de vibrador: uno que se entierra para movimientos profundos y otro de vibración superficial. Luego con los tramos realizados, se procede a pulir con el paletón para que toda la vía quede nivelada. Para que se produzca la fricción con las llantas de los vehículos se barre ligeramente la vía, de manera que se produzcan las vetas

Valoración: metros cuadrados

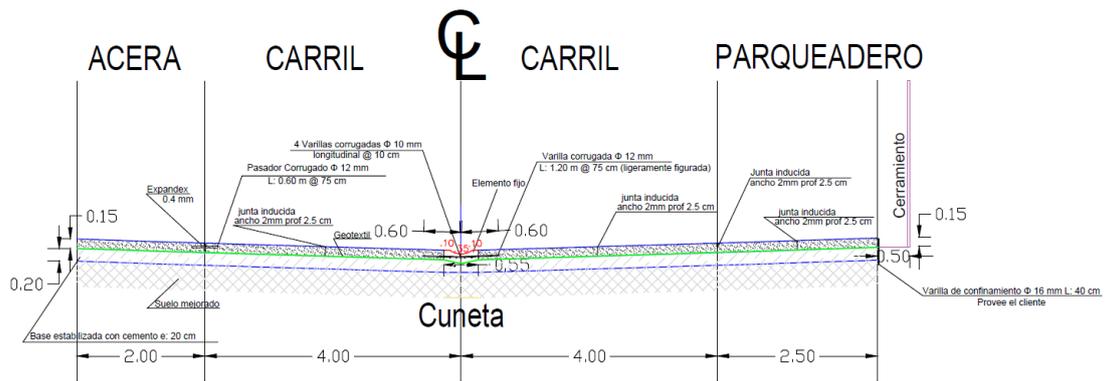


Imagen 51. Corte del pavimento
 Elaborado por: Pozo, C. (2021)



Imagen 52. Colocación de malla de confinamiento
 Elaborado por: Pozo, C. (2021)



Imagen 53. Fundido de losa
Elaborado por: Pozo, C. (2021)

Juntas

En las juntas de construcción transversal se instalan barras de transferencia de carga en el eje neutro del pavimento de acuerdo al diseño, este refuerzo normalmente se coloca en juntas de construcción programadas o no programadas en las que se realice interrupción de fundición en el sentido transversal por algún motivo de fuerza mayor. En las juntas de construcción longitudinal se colocará tie bar para amarre.

Posteriormente se procederá con el vaciado de concreto, debidamente consolidado, nivelado, terminado mediante flotación y texturizado con peine metálico en el sector de vías/parqueos y escobillado en aceras.

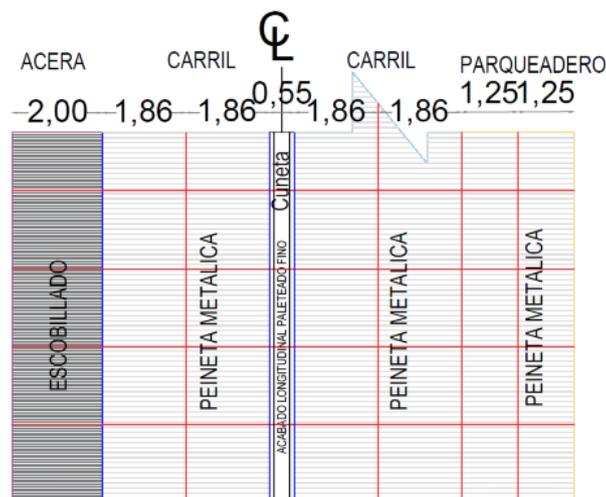


Imagen 54. Detalle de losas
Elaborado por: Pozo, C. (2021)



Imagen 55. Texturizado de hormigón
Elaborado por: Pozo, C. (2021)

Posteriormente se realizarán cortes de juntas transversal y longitudinal con la utilización de cortadoras de concreto fresco o cortadora de concreto endurecido.

Valoración: metros lineales



Imagen 56. Detalle de losas
Elaborado por: Pozo, C. (2021)

Curado del Hormigón

El curado del hormigón se lo realizara con agua en varias formas iniciando con nebulización al momento de estar dando el terminado del pavimento, aspersión al momento de realizar el corte de juntas e inundación cubriendo con plástico durante mínimo 3 días posteriores al hormigonado. Además, se colocó un protector contra fisuras como parte de la impermeabilización. En el caso de elementos rígidos como pozos de revisión, entre otros, se debe realizar un aislamiento del pavimento de acuerdo al detalle constructivo recomendado en el apéndice C de la norma ACI 330 “Guide for the Design and Construction of Concrete Parking Lots”, y que consta en los detalles del plano de diagramación de juntas. Finalmente, el pavimento se cubre con plástico para evitar la evaporación de la humedad que provoquen fisuras por resequedad. La vía podrá ser habilitada al tránsito, luego de 28 días.



Imagen 57. Curado del hormigón

Fuente: Pozo, C. (2021)

4.4. Caracterización de Defectos del Pavimento

Para el tercer objetivo: Identificar las fallas del pavimento rígido optimizado TCP en las vías de acceso a bodegas, se muestran las fotos de identificación y el plano de cada una de las fallas encontradas:

- Levantamiento de losas: NO
- Bombeo de finos: NO
- Fisuras de Esquina: NO

- Fisuras lineales: revisión de 30 paños en calzada, fisura en 18 de ellos.



Imagen 58. Identificación de 18 fisuras lineales en los 30 paños de la calzada
Elaborado por: Pozo, C. (2021)

- Roturas localizadas: 17 fisuras en canaletas

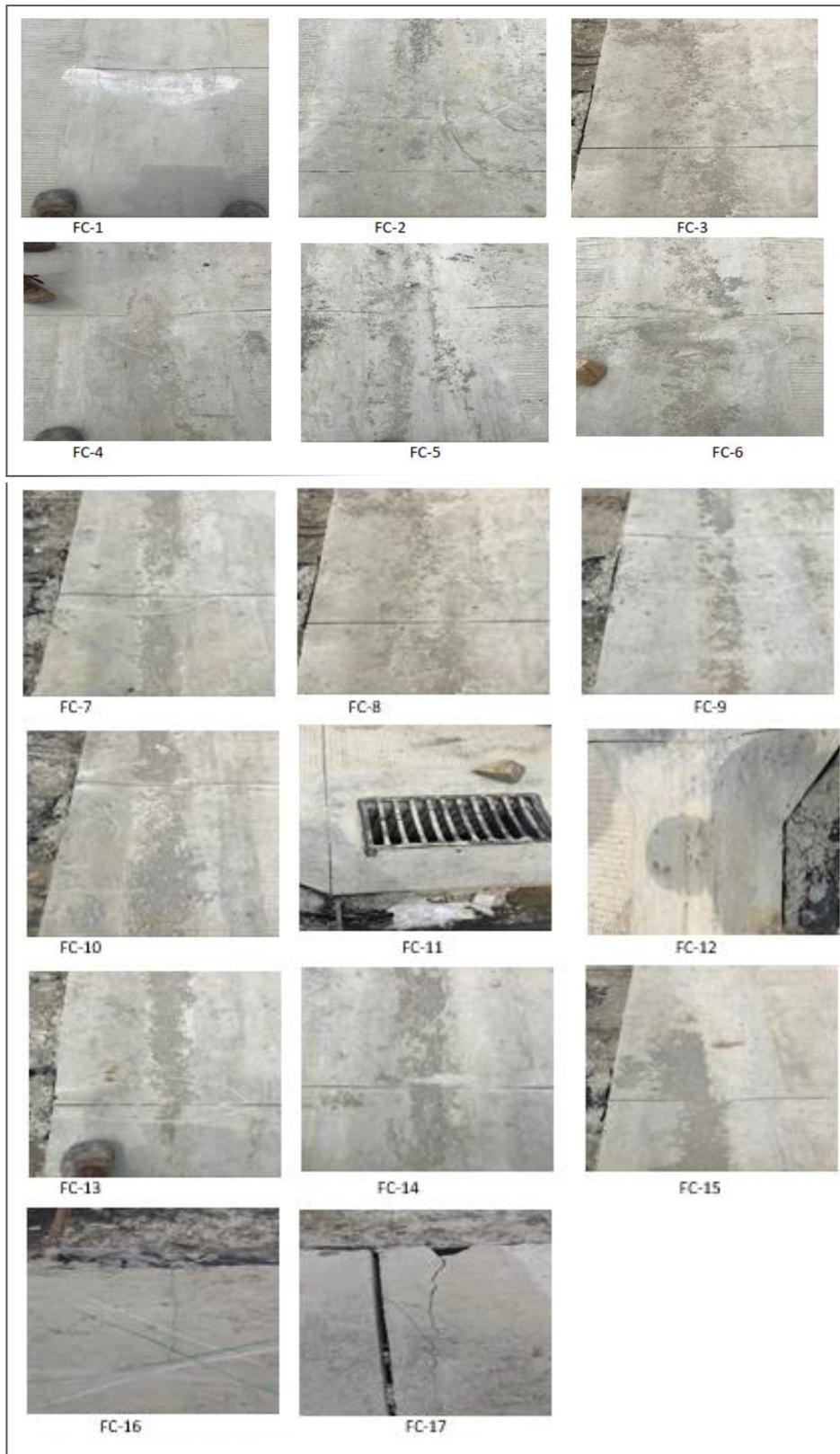


Imagen 59. Identificación de fisuras en canaletas
Elaborado por: Pozo, C. (2021)

- Losa dividida: NO
- Losa Suelta: NO
- Fisura Superficial: NO
- Fisuras de retracción: NO
- Desportillado: NO
- Asentamiento: NO
- Agujeros: NO

4.5. Categorización del pavimento

Para el cuarto indicador: Categorizar el pavimento rígido optimizado TCP en su aplicación en vías de acceso a bodegas, se ha procedido a detallar la información según su clasificación, según el tiempo de implementación y según su costo

A. Según su Clasificación

Con base en su clasificación, este pavimento entra en la categoría de: Pavimento Rígido construido con hormigón de cemento portland y materiales granulares, en la tabla 4., se detallan cada uno de los elementos y materiales empleados según la norma; además se colocan los datos empleados en la zona de estudio y su comparativo con los empleados en TCP y AASHTO 93, para concluir que su categoría por materiales entra en la del TCP.

Tabla 4.

Análisis comparativo de materiales utilizados en hormigón rígido y en hormigón tradicional

ELEMENTOS	MATERIALES	NEVI-12	ÁREA DE ESTUDIO	TCP	AASHTO 93
Sub-base	Grava	S. 403-1	20 cm	13-25 cm	10-20 cm
Geotextil	Geotextil tejido	S. 835	Previo a base	Previo a base	Previo a sub-base
Base	Hormigón	S. 404	20 cm	12-30 cm	32.5 cm
Cemento y agregados	Cemento Portland, agregados y aditivos	S.803 S.804 S.805	SI	SI	SI
Dimensión de losas (juntas)	Dowels/malla	S. 806 S. 807	1.86 m	1.20-2.50 m	Min 3.55 m
Impermeabilizante	Sika-Anti sol	S.401-7	SI	SI	SI

Elaborado por: Pozo, C. (2021)

B. Según su calidad

Los ensayos de calidad no pueden ser menores a 1 por cada 115m³ de hormigón o 465 m² de superficie de losa o pavimento. El muestreo debe realizarse a mitad de la descarga con un ensayo promedio mínimo de dos especímenes y ensayos adicionales a otras edades, tal como se describe en la tabla 5. El proceso de producción y control de calidad del concreto se apegará a lo estipulado en la norma NTE INEN 1855-1 “hormigón premezclado-requisitos”

Tabla 5.

Detalle del proceso de calidad del hormigón rígido TCP.

ELEMENTOS	VALORES	NORMA
Tipo de concreto	MR 4.5 Mpa	NTE INEN 1855-1
Tipo de muestreo	2 o más porciones	INEN 1763 ASTM C172
Toma de muestras	A la mitad de la descarga (no al inicio o final)	INEN 1855 ASTM C94
Frecuencia de Rotura	28 días	INEN 1855-1
Determinaciones del asentamiento	28 días	INEN 1578-1 ASTM C143
Moldeo de especímenes, Almacenamiento y curado, desmolde y transporte	28 días	INEN 1576 ASTM C31.
Resistencia a la flexión	28 días	NTE INEN 2554 ASTM C78
Resistencia a la tracción por compresión diametral	28 días	ASTM C496
Compresión simple	28 días	ASTM INEN 1573 ASTM C39

Elaborado por: Pozo, C. (2021)

El asentamiento debe considerar un cono truncado liso no absorbente con espesor de >1.5mm, altura 300mm, Di. Sup 100mm, Di. Int 200mm y tolerancia a +- 3mm. Para la varilla, se debe considerar una varilla de acero recta de diámetro de 16mm y largo de 600 mm con extremo semiesférico. Además, debe contemplarse una regla graduada de 30cm con incrementos de 5mm, una base metálica y una cuchara.

Con respecto a la resistencia a la flexión del hormigón se debe realizar de acuerdo a NTE INEN 2554 – ASTM C78, que será empleada al verificar el módulo de rotura (MR) a 28 días. Paralelamente y como trabajo interno, se tomarán muestras cilíndricas de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura para evaluar la resistencia a la tracción por compresión diametral según ASTM C496 y compresión simple según ASTM INEN 1573 - ASTM C39

C. Según el Costo

Con base en estudio de costos de TCP en la vía a bodegas de Almax III, se realiza el comparativo con el pavimento tradicional y se obtiene que posee un 9.17% de ahorro en cuanto al costo de ejecución del proyecto, siendo así que la categoría por costos es de producto, tal como se detalla a continuación:

ANÁLISIS ESTRUCTURA PAVIMENTO - TCP ALMAX 3									
	TCP			AASHTO 93					
	MUNICIPAL	PRINCIPAL	SECUNDARIA	MUNICIPAL	PRINCIPAL	SECUNDARIA			
TCP	0.16	0.15	0.15	0.18	0.14	0.14			
BASE ESTABILIZADA	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2			
MEJORAMIENTO	0.8	0.8	0.7	0.8	0.8	0.7			
	1.16	1.15	1.05	1.18	1.14	1.04			
	TCP			AASHTO			VARIACION		
	CANT	COST. UNIT	COST. TOTAL	CANT	COST. UNIT	COST. TOTAL			
PRESUPUESTO VIA MUNICIPAL			\$ 102,841.32			\$ 136,187.14	\$ 33,345.82		
TCP	3,337.92	\$ 23.70	\$ 79,108.70	600.83	\$ 92.00	\$ 55,275.96			
BASE ESTABILIZADA	3,337.92	\$ 7.11	\$ 23,732.61	3,337.92	\$ 5.60	\$ 18,692.35			
TRABAJO EN VIAS	-	\$ -	\$ -	3,337.92	\$ 18.64	\$ 62,218.83			
PRESUPUESTO VIA PRINCIPAL			\$ 320,715.68			\$ 341,049.67	\$ 20,333.99		
TCP	10,135.01	\$ 21.90	\$ 221,956.72	1,418.90	\$ 92.00	\$ 130,538.93			
BASE ESTABILIZADA	10,135.01	\$ 7.11	\$ 72,059.92	10,135.01	\$ 5.60	\$ 56,756.06			
TRABAJO EN VIAS	-	\$ -	\$ -	8,448.40	\$ 14.50	\$ 122,501.80			
TRABAJO EN ACERAS	-	\$ -	\$ -	1,686.61	\$ 18.53	\$ 31,252.88			
MALLA EN ACERA	1.00	\$ 26,699.04	\$ 26,699.04	-	\$ -	\$ -			
PRESUPUESTO VIA E1			\$ 69,293.68			\$ 69,393.90	\$ 100.22		
TCP	2,022.03	\$ 21.90	\$ 44,282.46	283.08	\$ 92.00	\$ 26,043.75			
BASE ESTABILIZADA	2,022.03	\$ 7.11	\$ 14,376.63	2,022.03	\$ 5.60	\$ 11,323.37			
TRABAJO EN VIAS	-	\$ -	\$ -	1,350.23	\$ 14.50	\$ 19,578.34			
TRABAJO EN ACERAS	-	\$ -	\$ -	671.80	\$ 18.53	\$ 12,448.45			
MALLA EN ACERA	1.00	\$ 10,634.59	\$ 10,634.59	-	\$ -	\$ -			
PRESUPUESTO VIA E2-E3			\$ 326,850.54			\$ 350,790.25	\$ 23,939.71		
TCP	10,454.56	\$ 21.90	\$ 28,954.86	1,463.64	\$ 92.00	\$ 134,654.73			
BASE ESTABILIZADA	10,454.56	\$ 7.11	\$ 74,331.92	10,454.56	\$ 5.60	\$ 58,545.54			
TRABAJO EN VIAS	-	\$ -	\$ -	8,966.01	\$ 14.50	\$ 130,007.15			
TRABAJO EN ACERAS	-	\$ -	\$ -	1,488.55	\$ 18.53	\$ 27,582.83			
MALLA EN ACERA	1.00	\$ 23,563.75	\$ 23,563.75	-	\$ -	\$ -			
MEJORAMIENTO FALTANTE	1	\$ 27,673.06	\$ 27,673.06	1	\$ 27,673.06	\$ 27,673.06	\$ -		
	SUBTOTAL		\$ 847,374.27	SUBTOTAL		\$ 925,094.01	\$ 77,719.74		
	IVA		\$ 101,684.91	IVA		\$ 111,011.28	\$ 9,326.37		
	TOTAL		\$ 949,059.18	TOTAL		\$ 1,036,105.29	\$ 87,046.11		
				DIF.		\$ 87,046.11	\$ 87,046.11		

Imagen 61. Análisis de costos
Elaborado por: Pozo, C. (2021)

CONCLUSIONES

Con respecto al tratamiento del suelo, se identifican suelos areno-arcillosos, con humedad de compactación óptima de 8.70% y densidad de 2128 kg/m³. Los suelos de este sector, requieren de tratamiento previo para poder obtener las condiciones necesarias para la construcción de la vía; para ello, se debe prestar total atención a la toma de muestras de compactación y humedad, para evitar los “falsos positivos” en los resultados; esto supone realizar un seguimiento a las zonas conflictivas con el fin de identificar tempranamente las señales de alerta en la estructura del suelo que puede provocar resultados no deseados.

Del procedimiento de diseño, se estima que la geometría del TCP, al ser de menor dimensión, requiere especial atención durante las fases de diseño y construcción, especialmente con respecto a las especificaciones de las capas de soporte y sistema de juntas. Además, es importante reconocer que a diferencia de la AASHTO 93, este diseño no contempla los valores de los ejes equivalentes sino el cálculo por el espectro de carga, que toma en cuenta la cantidad de vehículos y/o el peso de los de los mismos, de acuerdo a su circulación por el pavimento desde la apertura al tráfico hasta el final de la vida de diseño.

En cuanto a la metodología, los pavimentos predominantes se diseñan siguiendo la AASHTO 93, los cuales generan estructuras que presentan fallas debido a la longitud de las losas; esto se debe a que mientras exista mayor dimensión mayor será el número de ejes de ruedas que reciban y por lo tanto el espesor deberá incrementar para resistir las tensiones que se generen. Por ello, el uso de pavimentos delgados TCP que se caracterizan por la reducción de espesores y longitudes, reducen los alabeos y las tensiones.

Del análisis económico se mostró que posee un 9.17% de ahorro en cuanto al costo de ejecución del proyecto de este rubro. Para Covarrubias (2012), autor de esta nueva metodología, indica que los precios de pavimentación varían de acuerdo a la ubicación de cada proyecto, pero que generalmente se centra entre el 10-20%. En general, la experiencia muestra que la solución de hormigón con losas cortas ha sido hasta un 10% más económica que una equivalente en asfalto y siempre es competitiva. En el caso del proyecto estudiado, se redujo este valor en un 0.83% asignado a los costos de análisis de suelo, por el caso de mejoramiento.

De la calidad del TCP se identifica que el pavimento presenta muchos beneficios como menor costo de implementación y mantenimiento, mayor duración de las losas y mayor soporte de

cargas por las cargas de flexión. Con respecto a la seguridad se evidencia que este pavimento brinda mayor confort con respecto al tránsito y la seguridad en la carretera, lo cual se evidencia en su capacidad de mantenimiento vial al tener la reparación de losas cortas y no de grandes áreas como ocurre con el pavimento tradicional cuando presenta baches o hundimientos; esto también se puede ver reflejado en el caso de un comparativo con el asfaltado, ya que el TCP tiene mayor resistencia al desgaste y por ende menor cantidad de reparación, que se equilibra con el costo de bacheos continuos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda que para realizar la construcción de vías con pavimento TCP en la zona del km 14.5 de la vía a Samborondón Av. Miguel Yúnez, se tome siempre en cuenta los valores que reflejan el tipo de suelo, los valores de soporte y las características friccionantes en la interfase del pavimento con el terreno de apoyo para diferentes tipos de suelos afectan los movimientos y el soporte de las losas.

Con relación a los procesos constructivos, se deben observar los componentes del concreto que puedan afectar los requerimientos de juntas ya que los materiales seleccionados para el concreto determinan las contracciones de la losa, por ejemplo, del agregado grueso influye en el coeficiente térmico del concreto, en adición a esto los agregados finos tienen una influencia perjudicial en el comportamiento de las juntas. En muchas ocasiones el deterioro es resultado de concentraciones de materiales malos a lo largo de las juntas.

Finalmente se recomienda realizar un estudio general de suelos acompañado de un topógrafo y un geógrafo, para la identificación gráfica de zonas que puedan dar a conocer la incidencia del tipo de suelos sobre la construcción de esta zona proyectada para la expansión urbana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). Guide for design of pavement structures. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C., U.S., 624 p. Disponible en <https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>
- AASHTO. (2008). Mechanistic-empirical pavement design guide: a manual of practice (interim edition). American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, D.C. U.S., 218 p. Disponible en <https://bookstore.transportation.org/imageview.aspx?id=413&DB=3>
- American Concrete Pavement Association. (2020). Concrete pavements, Tomado de <https://www.acpa.org/solutions-and-markets/types-of-concrete-pavements/>
- Andrade, C. A., & Rivera De La Cruz, L. J. (2019). *Propuesta De Diseño De Pavimento Rígido De La Vía Virgen De Fátima–Naranjal (km 11)-Taura* (Bachelor's thesis, Espol). Tomado de <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/131526/D-CD70338.pdf>
- Auqui Parra, J. C., & Ramírez Chicaiza, D. R. (2019). Elaboración de una guía práctica para el diseño estructural de carreteras (Bachelor's thesis), tomado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16966>
- Bojorque, J., Cabrera, A., & Urgilés, D. (2017). Aplicación del diseño experimental para el análisis de pavimentos rígidos basado en el método de la PCA. *Maskana*, 8, 147-158.
- Castillero, O. (2017). *Psicología y mente*. Obtenido de *Psicología y mente*: <https://psicologiymente.com/miscelanea/tipos-de-investigacion>
- Castro-Vásquez, M. G., Castro-Vásquez, L. A., & Castro-Vásquez, P. G. (2020). Aplicación práctica del método AASHTO-93 para el diseño de pavimento rígido. *Polo del Conocimiento*, 5(9), 640-663.
- Covarrubias, J. (2007). Boletíninformativotcpavements. Diseño TCP (Pavimentos de concreto con losas de dimensiones optimizadas) (Noviembre, 2007).
- Covarrubias, J. P. (2012). Diseño de losas de hormigón con geometría optimizada/Design of concrete pavement with optimized slab geometry. *Ingeniería de Construcción*, 27(3), 181-197.
- Díaz, K. & Hoyos, T. (2019). Comparación Técnico y Económico de Pavimentos Optimizados (TCP) y Pavimentos Rígidos (AASHTO 93), de Acuerdo con las Condiciones Locales de Jaén.

- Estación Casanova, O. E., & Valverde Baltazar, D. O. (2012). Aplicación de la tecnología de pavimento tcp en las calles 56 y 78 de la habilitación urbana paseo del mar–nuevo chimbote–ancash–peru.
- Florez Camacho, A. S., Morales Cortes, W. F., & Rodriguez Pacheco, Y. (2019). *Estudio comparativo de metodología tradicional de diseño de pavimentos versus tecnología TCP (geometría optimizada) para la vía entre las veredas la Carrera y Leticia, del Municipio de Agua de Dios, Cundinamarca* (Doctoral dissertation, Corporación Universitaria Minuto de Dios).
- Gómez, J. A. F. (2005). Guía para el uso del método de diseño de estructuras de pavimentos nuevos según método AASHTO 2002.
- Hennis, A. (2019) Estado de la seguridad vial en la Región de las Américas (OPS. 2019) https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/51100/9789275320877_spa.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Hernández-Sampieri, R., & Torres, C. P. M. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 4). México eD. F DF: McGraw-Hill Interamericana.
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, R., & Baptista-Lucio, P. (2017). Selección de la muestra.
- IBCH (2012) Manual de pavimentos rígidos, 2012 Tomo 2. Norma para pavimentos rígidos. Ministerio de Transporte y obras públicas del Ecuador.
- Jaña Arellano, C. G. (2017). Implementación de la guía de diseño mecanístico-empírico AASHTO 2008 en la Región Piura.
- López Chaparro, H. S. Análisis comparativo entre diferentes metodologías de diseño para estructuras de pavimento implementando los parámetros de diseño requeridos para el corredor Mulaló-Loboguerrero.
- Mendoza García, H. (2015). Evaluación del diseño de losas cortas (TCP) en pavimentos según tensiones, tomado de <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/793>
- Mendoza, H. (2015). Evaluacion del diseno de losas cortas (tcp) en pavimentos segun tensiones.
- MINVU (2016) Extracto de Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación
- MTOP (2013) Norma Vial NEVI-12- MTOP. Procedimientos de operación y seguridad vial. Volumen 5. Tomado de https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_5.pdf
- MTOP (2013) Norma Vial NEVI-12- MTOP. Procedimientos de operación y seguridad vial. Volumen 1. Tomado de <https://cauchosvikingo.com/wp->

content/uploads/2017/07/Manual_NEVI-12_VOLUMEN_1-Procedimientos-para-proyectos-viales.pdf

MTOP (2021) Mapa interactivo de las vías de transporte: <https://www.obraspublicas.gob.ec/mapa-estado-de-carreteras-ecuador/>

Pari Mamani, J. (2019). Aplicación de la metodología de losa con geometría optimizada en diseño de pavimento rígido en el centro poblado de Jayllihuaya-Puno.

PCA (1984-1995). Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements. Portland Cement Association. Estados Unidos de América, traducción en https://www.ibch.com/index.php?option=com_remository&Itemid=&func=startdown&id=93

Pradena, M., & Chaparro, B. (2019). Análisis estructural de pavimentos de hormigón: Losas cortas en pisos industriales. Revista Politécnica, 43(2), 45-50. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292019000300045

Salgado, M. (2020) Experiencia de Chile con los pavimentos de losas cortas, Recuperado el 15 de noviembre, tomado de <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/pavimentos-de-losas-en-chile>

Sistema Nacional de Inversión Pública. (2015). Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras. Recuperado de 46 https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/2015/RD00_3-2015/Pautas_Pavimentos.pdf

Spiegel R. (2009). Estadística. McGraw-Hill.

Suárez, P. (2021). Pavimentos rígidos. Entrevista personal, 07 de enero de 2021.

TCPavements (s/f) Metodología de Diseño de pavimentos de concreto delgados. Tomado de <http://www.tcpavements.cl/esp/tecnologia>, recuperado el 25 de noviembre de 2020.

Tercera Conferencia Ministerial Mundial sobre Seguridad Vial (2020). Estocolmo, 03 de marzo 2020 <https://www.paho.org/es/noticias/3-3-2020-3a-conferencia-ministerial-mundial-sobre-seguridad-vial>

Thin Concrete Pavement. (2007). Documentación y Guía de Diseño Optipave 2.0.2. Chile.

Tovar, C. (2014) Evaluación del empleo de concreto compactado con rodillo en los pavimentos: Impacto Técnico y Económico. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga.

Villarroel Suyo, D. (2018). *Evaluación de pavimentos con losas cortas de hormigón "TCP"* (Doctoral dissertation).