



UNIVERSIDAD TECNICA DE MACHALA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL, MENCIÓN
VIALIDAD

MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE ESTRUCTURAS VIALES QUE
INFLUYEN EN VÍAS DE SEGUNDO ORDEN, 2022.

AUTOR: JAIRO DAVID VASQUEZ VARGAS

TRABAJO DE TITULACION PREVIO LA OBTENCION DEL TITULO
DE MAGISTER EN INGENIERIA CIVIL, MENCIÓN VIALIDAD

TUTOR: ING. LEYDEN CARRION ROMERO, MG SC

COTUTOR: ING. DANIEL LLANOS, M.Sc.

MACHALA
AÑO 2022

PENSAMIENTO

El mejoramiento de la vialidad en el sector rural es uno de los factores predominantes en busca del desarrollo de los pueblos, a través de vías en buen estado se genera desarrollo y oportunidades para los sectores más vulnerables de una sociedad, que siempre ven relegada sus aspiraciones, debido a que para mejorar la conectividad en vías de segundo y tercer orden, las autoridades primeramente evalúan la cantidad de personas que se beneficiarían con una intervención que puede generar costos elevados en su presupuesto, lo que muchas veces no hace muy atractivo la inversión en zonas rurales-marginales, obviando la importancia que tienen estas comunidades en la generación de empleo y el movimiento en la económica de un País

Jairo Vasquez, 2022

DEDICATORIA

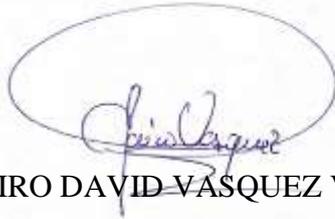
Expresar mi agradecimiento y dedicación a Dios ya que sin él no sería posible estar aquí y cumplir con cada una de las metas y sueños que nos proponemos en la vida, también está dedicado a mi madre que desde el cielo vela y cuida de mi habiéndome inculcado grandes valores para ser una persona de bien, y sin lugar a dudas a mi esposa Mariuxi Peralta, mis hijos Santiago y Jairo que siempre están apoyándome y entienden que cada sacrificio que hacemos es para darles lo mejor y ser un buen ejemplo en sus vidas.

AGRADECIMIENTOS

- Hacer un extensivo agradecimiento a mi segunda casa que me acogió a los 18 años la Universidad Técnica de Machala en su Facultad de Ingeniería Civil, a todos sus docentes, personal administrativo y de servicio que siempre nos guiaron por buen camino hasta convertirnos en los profesionales que hoy en día somos, y ahora con un peldaño más, haberme acogido en su programa de Maestría en Ingeniería Civil Mención Vialidad, realizando así una de mis metas por cumplir.
- A nuestro amigo y coordinador del Programa de Maestría en Ingeniería Civil, Ing. Carlos Eugenio Sánchez Mendieta, por habernos motivado a seguir este nuevo proyecto en mi carrera profesional, gracias infinitas por su paciencia, compromiso y dedicación conmigo y todos nuestros compañeros.
- A mi Tutor Ing. Leyden Oswaldo Carrión Romero, Mg Sc, por su guía y orientación en busca de general un buen trabajo de investigación que aporte a mi Provincia.
- A todos mis hermanos compañeros de la Maestría, por siempre estar atentos y pendientes a cada una de las tutorías recibidas y aportando con sus criterios con la única finalidad de vernos a todos culminar con esta nueva etapa en nuestras vidas, mi agradecimiento eterno.

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, Jairo David Vasquez Vargas con C.I. 0704848753, declaro que el trabajo de “MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE ESTRUCTURAS VIALES QUE INFLUYEN EN VÍAS DE SEGUNDO ORDEN, 2022.”, en opción al título de Magister en Ingeniería Civil, mención Vialidad, es original y auténtico; cuyo contenido: conceptos, definiciones, datos empíricos, criterios, comentarios y resultados son de mi exclusiva responsabilidad.

A handwritten signature in blue ink, enclosed within a hand-drawn oval. The signature is cursive and appears to read 'Jairo David Vasquez Vargas'.

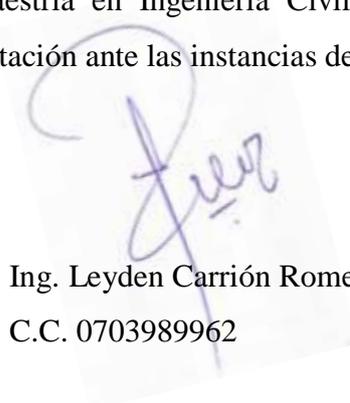
JAIRO DAVID VÁSQUEZ VARGAS

C.I. 0704848753

Machala, 2022/10/25

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En calidad de Tutor del trabajo de titulación “MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE ESTRUCTURAS VIALES QUE INFLUYEN EN VÍAS DE SEGUNDO ORDEN, 2022.”, elaborado por el Ing. Jairo David Vásquez Vargas, considero que ha sido realizado con prolijidad, fundamentación teórica y técnica; y, de acuerdo a los requisitos exigidos por la organización del Programa de Maestría en Ingeniería Civil, mención Vialidad, por lo que autorizo su presentación ante las instancias de aprobación correspondiente.



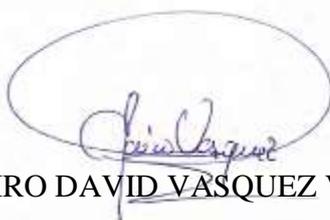
Ing. Leyden Carrión Romero
C.C. 0703989962

Machala, 2022/10/25

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Jairo David Vasquez Vargas con C.I. 0704848753, autor del trabajo de titulación “MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE ESTRUCTURAS VIALES QUE INFLUYEN EN VÍAS DE SEGUNDO ORDEN, 2022.”, en opción al título de Magister en Ingeniería Civil, mención Vialidad, declaro bajo juramento que:

- El trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido presentado previamente para ningún grado o calificación profesional. En consecuencia, asumo la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.
- Cede a la Universidad Técnica de Machala de forma exclusiva con referencia a la obra en formato digital los derechos de:
 - a. Incorporar la mencionada obra en el repositorio institucional para su demostración a nivel mundial, respetando lo establecido por la Licencia *Creative Commons Attribution-NoCommercial* – Compartir Igual 4.0 Internacional (CC BY NCSA 4.0); la Ley de Propiedad Intelectual del Estado Ecuatoriano y el Reglamento Institucional.
 - b. Adecuarla a cualquier formato o tecnología de uso en INTERNET, así como correspondiéndome como Autor la responsabilidad de velar por dichas adaptaciones con la finalidad de que no se desnaturalice el contenido o sentido de la misma.



JAIRO DAVID VASQUEZ VARGAS
C.I. 0704848753

Machala, 2022/10/25

MODELO DE OPTIMIZACIÓN DE ESTRUCTURAS DE VÍAS DE SEGUNDO ORDEN

RESUMEN

La presente investigación se realiza para las carreteras de segundo orden de la Provincia de El Oro que presentan deficiencias en la estructura de pavimentos, donde nos conlleva a un mejoramiento en las estructuras, para un mayor tiempo de vida y una reducción en costos de construcción. Por ello se planteó el objetivo de desarrollar un modelo de optimización de espesores de pavimento, partiendo de la estabilización de la subrasante con cemento que mejoren las propiedades mecánicas del suelo y la resistencia a las condiciones climáticas en vías de segundo orden. El método utilizado para obtener un modelo optimizado consta de dos partes: El análisis y diseño con el método ASSTHO 93 y el análisis mediante el método analítico por fatiga y deformación. El método consiste en proponer una condición inicial mediante el cálculo de espesores en base al Método ASSHTO 93. Posteriormente se realiza las simulaciones donde se analizan los valores de fatiga y deformación, los cuales indican la falla de la capa de rodadura y deformación vertical admisible de la subrasante. En este proceso se realizarán varias interacciones, en base a los espesores obtenidos con la subrasante mejorada hasta obtener deformaciones admisibles dentro de los rangos permitidos. Como resultado se aplicó el modelo de optimización en el caso de estudio de la vía Chilla - Quera de 15 Km, donde se obtuvo información del suelo encontrando un CBR de 2.7% y un tráfico con un ESAL's de 86078 ejes equivalentes. El modelo que se obtuvo contiene características mínimas las cuales son: El espesor de carpeta asfáltica deberá ser mayor a 9 cm con un módulo de elasticidad mayor a 3000 MPa, para la base el espesor se encuentra entre 10 y 15 cm, con un módulo de elasticidad entre 195 y 365 MPa, para la subbase el espesor será mayor a 20cm con un módulo de elasticidad mayor a 120 MPa y una base estabilizada con suelo-cemento de 15 cm con un módulo de elasticidad mayor a 1000MPa.

Palabras claves:

Optimización de estructuras viales, pavimentos flexibles, cemento hidráulico, estabilización de suelos, suelo - cemento

ABSTRACT

The present investigation is carried out for the second order roads of the Province of El Oro that present deficiencies in the pavement structure, where it leads us to an improvement in the structures, for a longer life and a reduction in construction costs. For this reason, the objective of developing a pavement thickness optimization model was proposed, starting from the stabilization of the subgrade with cement that improves the mechanical properties of the soil and the resistance to climatic conditions on second-order roads. The method used to obtain an optimized model consists of two parts: The analysis and design with the ASSTHO method and the analysis using the fatigue and deformation analytical method. The method consists of proposing an initial condition by calculating thicknesses based on the ASSHTO 93 Method. Subsequently, simulations are carried out where fatigue and deformation values are analyzed, which indicate the failure of the wearing course and admissible vertical deformation of the subgrade. In this process, several interactions will be carried out, based on the thicknesses obtained with the improved subgrade until permissible deformations are obtained within the permitted ranges. As a result, the optimization model was applied in the case study of the Chilla - Quera road of 15 km, where soil information was obtained, finding a CBR of 2.7% and traffic with an ESAL's of 86078 equivalent axes. The model that was obtained contains minimum characteristics which are: The thickness of the asphalt layer must be greater than 9 cm with a modulus of elasticity greater than 3000 MPa, for the base the thickness is between 10 and 15 cm, with a modulus of elasticity between 195 and 365 MPa, for the subbase the thickness will be greater than 20cm with a modulus of elasticity greater than 120MPa and a base stabilized with soil-cement of 15cm with a modulus of elasticity greater than 1000MPa.

Keywords:

Optimization of road structures, flexible pavements, hydraulic cement, soil stabilization, soil – cement

INDICE GENERAL

Contenido

PENSAMIENTO	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA	5
CERTIFICACIÓN DEL TUTOR	6
CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
INDICE GENERAL	10
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	11
INDICE DE TABLAS	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO I:	16
1. MARCO TEÓRICO	16
1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS	16
1.2. ANTECEDENTES CONCEPTUALES.....	17
1.3. ANTECEDENTES CONTEXTUALES	23
CAPITULO II	27
2. METODOLOGIA	27
2.1. TIPO DE ESTUDIO	27
2.2. PARADIGMA.....	27
2.3. ENFOQUE	27
2.4. POBLACION Y MUESTRA	28
2.4.1. POBLACION	¡Error! Marcador no definido.

2.4.2. MUESTRA	¡Error! Marcador no definido.
2.5. METODOS TEORICOS EMPLEADOS	28
2.6. METODOS EMPIRICOS EMPLEADOS	28
CAPITULO III.....	33
3. PROPUESTA METODOLOGÍCA	33
3.1. INFORMACIÓN GENERAL.....	33
3.2. ANTECEDENTES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	33
3.3. JUSTIFICACION	33
3.4. OBJETIVO.....	34
3.5. FUNDAMENTACIÓN CIENTIFICA.....	34
3.6. MODELO OPERATIVO	36
CAPITULO IV	37
4. ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS	37
4.1. CONDICION INICIAL	37
4.2. SIMULACION POR FATIGA Y DEFORMACIÓN	40
4.3. MODELO OPTIMIZADO	42
CONCLUSIONES	45
RECOMENDACIONES	46
BIBLIOGRAFIA	47
ANEXOS	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Jerarquización vial del Cantón Zaruma; ¡Error!	Marcador no definido.
Ilustración 2 Modulo resiliente	30
Ilustración 3 Modelo de optimización de estructuras viales	36

Ilustración 4 CBR.....	39
Ilustración 5 Calculo de espesores	40
Ilustración 6 Datos de ingreso en ALIZE	41
Ilustración 7 Deformaciones condición inicial	41
Ilustración 8 Modelo optimizado	43
Ilustración 9 Grafica ESAL's – Deformación Tangencial	44
Ilustración 10 Grafica ESAL's – Deformación Vertical	44

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación funcional de las vías.....	17
Tabla 2 Diferencia entre pavimentos	20
Tabla 3 Jerarquización vial Cantón Zaruma, ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 4 Tiempos de vida en función del tipo de vía	29
Tabla 5 Servicialidad	29
Tabla 6 Desviación estándar	29
Tabla 7 Confiabilidad.....	30
Tabla 8 Calidad de drenaje.....	31
Tabla 9 Coeficientes de drenaje	31
Tabla 10 Estimación preliminar del contenido de cemento	35
Tabla 11 Cuadro de conteo de trafico	37
Tabla 12 Calculo de ejes equivalentes	38
Tabla 13 Espesores de condición inicial calculados	40
Tabla 14 Material de mejoramiento	42
Tabla 15 Características del Modelo optimizado.....	43

INTRODUCCIÓN

Importancia del tema

En la actualidad, para mantener una vía en condiciones óptimas es necesario tener un buen diseño y planificación, el cual nos deberá otorgar seguridad y a su vez mantener un costo de operación acorde al tipo y funcionalidad de la vía. La presente investigación es de gran importancia debido a que el estudio de optimización de los espesores de pavimentos es de utilidad para los GAD's municipales y/o Gobiernos Provinciales en la planificación de vías de segundo orden.

El estudio de las vías se realiza muchas veces debido a que las estructuras viales no cumplen con los requisitos mínimos de construcción, de igual manera existen sobredimensionamientos en los espesores de la estructura, todo esto conlleva a que se reduzca la vida útil del proyecto y aumenten los costos. Por ello diseñar un modelo de optimización será de gran importancia para cumplir con los aspectos mínimos de construcción y así reducir las posibles fallas por malos diseños. (Monsalve Tabares et al., 2022)

Actualidad de la problemática que se enfrenta

En las carreteras de segundo orden de la Provincia de El Oro existe un déficit muy alto con el recubrimiento y mejoramiento de las vías en el sector rural, y una falta de canteras que doten de materiales adecuados para la producción de agregados como subbase, base, etc., se hace una necesidad imperiosa aplicar la técnica de estabilización de suelos naturales con cemento, para mejorar las condiciones mecánicas del mismo, ahorrando transporte de materiales, explotación de canteras, etc., y teniendo como una alternativa más económica y amigable con el ecosistema. Con ello nos planteamos la pregunta: ¿Como influye la estabilización de suelo con cemento en la optimización de espesores en los costos de construcción en vías de segundo orden?

Formulación del problema científico.

Contar con un modelo de optimización que alcance un esquema óptimo en la construcción y posterior mantenimiento de la estructura, permitirá planificar y anticipar los costos en la construcción de vías de segundo orden; por ello nos responderemos al problema planteado: ¿Cuál es el modelo de optimización de espesores de pavimento en estructuras viales que reduzca los costos en la construcción de vías de segundo orden?

Delimitación del objeto de estudio

El objetivo de este estudio fue desarrollar un modelo optimización de espesores de pavimento partiendo de la estabilización de suelos con cemento en estructuras viales que mejoren las propiedades mecánicas del suelo y la resistencia a las condiciones climáticas de vías de segundo orden. La investigación se realizó en la vía Chilla – Quera de 15 Km, perteneciente al Cantón Zaruma de la Provincia de El Oro.

Objetivo general de la investigación

Evaluar las estructuras viales mediante criterios de optimización de espesores del pavimento que permitan la reducción de los costos de construcción en vías de segundo orden.

Objetivos específicos

- Fundamentar teórica y técnicamente la optimización de los espesores de pavimentos mediante una revisión bibliográfica de estudios en estructuras viales que permita la reducción de los costos de construcción en vías de segundo orden.
- Analizar los espesores de pavimento mediante criterios de evaluación que permitan la reducción de los costos de construcción en vías de segundo orden.
- Elaborar un Modelo para la optimización de espesores de pavimentos que permita la reducción de los costos de construcción en vías de segundo orden.

Delimitación del campo de acción.

El campo de investigación al cual se regirá el trabajo estará presente en los procesos, métodos, normas y especificaciones de los elementos que conforman una estructura vial en las vías de segundo orden en la provincia de El Oro.

Hipótesis o preguntas científicas o ideas a defender.

Se realizará el desarrollo de la investigación con el fin de responder nuestras interrogantes científicas como lo son: ¿La optimización de estructuras viales influirá en vías de segundo orden?, ¿Qué estudios son necesarios para la optimización de estructuras viales que permitan reducir los espesores de pavimento que influya en vías de segundo

orden? y ¿Qué modelo de optimización de estructuras viales permitirá reducir los espesores de pavimentos en vías de segundo orden?

Estructura del trabajo.

La investigación se desarrolló en cuatro capítulos, los cuales forman parte integral del cuerpo de la tesis, donde vamos ampliando cada escenario investigado y que aporta al tema.

En el capítulo 1 contiene el marco teórico referencial. En el cual se compila la información pertinente al tema de investigación y antecedentes del objeto de estudio en la optimización de pavimentos que permita determinar una reducción en los espesores de pavimentos y costos de construcción.

En el capítulo 2 describe la metodología y los materiales utilizados. Se presenta la metodología que se aplica, modalidad de la investigación, determinación de la población y muestra, el plan de recopilación de datos y procesamiento de la información.

En el capítulo 3 describe la propuesta del modelo de optimización de espesores de pavimentos en vías de segundo orden para reducir los espesores de pavimentos para una reducción en los costos de operación.

En el capítulo 4 se presenta el análisis e interpretación de resultados donde se presenta los diseños realizados mediante el ASSTHO 93 y el modelo optimizado de la estructura vial de una vía de segundo orden con la estabilización de suelo.

Finalizamos con las conclusiones y recomendaciones sobre el modelo de optimización el cual permita identificar los espesores y costos óptimos presentes en un pavimento con una estabilización de suelo con cemento, con lo que lograremos reducir el costo de operación.

CAPÍTULO I:

1. MARCO TEÓRICO

1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El progreso de una región depende en gran medida de sus vías de comunicación, ya que propician el buen funcionamiento de los bienes y servicios dirigidos a la población y el desarrollo de la economía y de otros aspectos tales como la política, la cultura, el campo social entre otros. De aquí la importancia de mantener en buen estado las vías.

A través de los años se han desarrollado metodologías y técnicas tales como la utilización de materiales clasificados o selectos de bancos específicos que sean de buena calidad, otra técnica desarrollada fue la mezcla de materiales con el fin de modificar su granulometría y su plasticidad; la utilización de materiales como el cemento y otros conglomerantes puzolánicos en pequeñas cantidades mezcladas con suelo natural; todo esto con el objetivo de mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los materiales utilizados en las vías. Ejemplo de ello, son trabajos realizados en la India y en las pirámides de Shaanxi en china construidas hace 5000 años, las vías de comunicación durante el Imperio Romano y los famosos caminos blancos “Sacbéh” de los mayas, construidos hace 5,500 años en la zona Norte de Mesoamérica. Así mismo, en otras civilizaciones como el Imperio Inca y Azteca (S. Flores,2015)

“En Ecuador existen varias vías donde se han empleado bases estabilizadas y luego de muchos años de operación, no se han presentado fallas por fatiga, tan comunes en los pavimentos flexibles. Entre ellas destacan: la ciudadela Velasco Ibarra de Machala (15 años), la vía al PAN desde el Puente Alterno Norte hasta la vía Durán–Yaguachi de 11 km de longitud (13 años) y la ampliación de la vía de 10 carriles de ingreso a Durán. En la provincia del Azuay también se ha implementado estas bases en lugares como la vía Nazón Playa de Fátima del cantón Biblian o la vía Santa Isabel, reflejando ahorros significativos para la entidad ejecutora”. (HOLCIM, 2020)

De los estudios y análisis realizados con anterioridad lo que no se ha determinado es el ahorro que se ha tenido utilizando un suelo optimizado con cemento y una estructura convencional, por lo tanto, como autor de esta investigación pondremos a disposición los resultados finales para que sean implementados en vías de segundo orden en zonas rurales. Con una propuesta que mejore la estructura de vías de segundo orden se busca

optimizar las propiedades mecánicas de un suelo y la mayor resistencia a las condiciones climáticas adversas en zonas donde además existe carencia de materiales pétreos de calidad, lo que dificulta y en muchos casos resultan inejecutables proyectos necesarios para zonas rurales.

1.2. ANTECEDENTES CONCEPTUALES

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador, en base a la Constitución del 2008 elaboró un plan estratégico para el mejoramiento y excelencia en cuanto a planificación, diseño, construcción y mantenimiento de proyectos viales. Con el objetivo de realizar revisión, actualización y complementación de normas específicas técnicas del sector de transporte vial para contribuir con el buen desarrollo nacional. (MTOP, 2013)

1.1.1. Clases de vías

En el Ecuador las redes viales se clasifican por: la capacidad (función de TPDA), por la jerarquía en la red vial, así como por las condiciones Orográficas que presente, por el número de calzadas y por la superficie de rodamiento. (MTOP, 2013)

CLASIFICACIÓN FUNCIONAL DE LAS VÍAS EN FUNCIÓN DEL TPDA			
DESCRIPCIÓN	Clasificación funcional	TPDA	
		Límite Inferior	Límite Superior
AUTOPISTA	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
AUTOVÍA O CARRETERA MULTICARRIL	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
CARRETERA DE DOS CARRILES	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

Tabla 1 Clasificación funcional de las vías

Fuente: MTOP del Ecuador

1.1.2. Vías de segundo orden

Las vías de segundo orden son de gran importancia para la integración nacional, regional y local, a más de que facilitan acceso de las comunidades más remotas y aisladas con la nación. Puesto que, llegan a las zonas más alejadas y marginadas del país, las vías de segunda orden influyen significativamente en el desarrollo social y económico de los habitantes de una nación. (Depestre et al., 2012)

1.1.3. Carreteras

Las carreteras un término aplicado a caminos de carácter modernos donde se desarrolla el movimiento de un gran número de vehículos, son la adaptación de una franja sobre la superficie terrestre con ciertas características de ancho, alineamiento y pendientes que permiten el rodamiento de los vehículos. (Crespo, 2004)

1.1.4. Caminos vecinales

Se refiere a las vías que conectan zonas rurales internas como (caseríos, recintos), no completan las características básicas de una carretera moderna, aunque los caminos vecinales pueden reunir condiciones de uso por carro o solo por caballería. Los sistemas de transporte siempre han sido de gran aporte para el desarrollo de las poblaciones, la necesidad de conectarse con las demás localidades ayuda a reducir costos en los desplazamientos de personas y de sus cargas. Pero los caminos vecinales a pesar de que en algunos exista la posibilidad de circular un vehículo está destinado exclusivamente para los movimientos de personas y de carga animal. (Torres, 2017)

1.1.5. Estructuras Viales

La infraestructura vial juega un papel muy importante para la competitividad gracias a su conexión con diferentes regiones del país sean lejanas o cercanas. Pero, es importante mantener un correcto mejoramiento y mantenimiento de su estructura, para reducir los costos de transporte interno, debido a que todo esto corrobora en el crecimiento económico de las personas. Dicho de otra manera, la infraestructura vial es fundamental para el desarrollo de una ciudad y país, una red de infraestructura vial en excelente estado permitirá una integración no solo con la nación, región o ciudad, sino también con países cercanos contribuyendo aún más a la economía de sus habitantes, puesto que la infraestructura vial permite acceso a mercados internaciones, es importante mencionar que las vías terrestres influyen en los procesos de producción, distribución y consumo de mercancías. (López et al., 2019)

1.1.6. Pavimento rígido

El pavimento rígido es un pavimento constituido básicamente por una losa de hormigón de cemento o concreto simple o armado. Que se apoya directamente sobre la base o sub-base, se compone de losa de concreto hidráulico en la que puede presentar un

armado de acero. Este pavimento es de costo más elevado que el pavimento flexible, su durabilidad varia de 20 a 40 años. (Perera, 2017)

1.1.7. Pavimento flexible

Un pavimento flexible es aquel que posee una carpeta de rodamiento de concreto de cemento asfáltico, que se apoya habitualmente sobre dos capas no rígidas es decir la base y sub-base. En el inicio de su construcción este tipo de pavimento es más económico que el pavimento rígido, su durabilidad va de 10 a 15 años si se le realizan los mantenimientos periódicos para alargar su vida útil. El pavimento flexible está formado por varias capas que presentan características funcionales como: - Resistir y distribuir adecuadamente las cargas producidas por el tránsito - Resistir la acción destructora de los vehículos - Tener la impermeabilidad necesaria - Poseer una superficie de rodadura adecuada, que permita fluidez y comodidad hacia el tránsito de vehículos - Resistir los agentes atmosféricos – Ser flexible para adaptarse a ciertas fallas de la base o sub-base. (Baque-Solis, 2020)

Bajo el mismo concepto para (Oblitas-Gastelo et al., n.d.), un pavimento flexible lo componen varias capas (de rodadura, base y sub base), mismas que tienen varias funciones importantes entre ellas están las de distribuir la carga del tránsito de forma correcta, así como de resistir agentes climatológicos, impermeabilizar el pavimento para mantener una capa de rodadura segura y cómoda para el tránsito. Sin embargo, para que la vida servicial del pavimento se alargue se debe hacer los mantenimientos continuos para evitar su deterioro o pérdida total del mismo.

1.1.8. Diferencia de pavimentos

“El pavimento es una estructura que se apoya sobre la subrasante y está conformada por un conjunto de capas granulares y una capa de rodadura” (ANGIE, 2017, pág. 7). Su estructura deberá ser capaz de resistir grandes cargas del tránsito, así como condiciones ambientales donde se desarrolle un tráfico seguro y confortable de vehículos.

Tabla 2 Diferencia entre pavimentos

DIFERENCIA ENTRE PAVIMENTO RÍGIDO Y PAVIMENTO FLEXIBLE		
PROPIEDADES	PV. RÍGIDO	PV. FLEXIBLE
NÚMERO DE CAPAS	Máximo dos	Varias capas
COSTE DE CONSTRUCCIÓN	Mayor coste inicial	Menor coste inicial
DEFORMACIONES	Menor deformación	Mayor deformación
VIDA DE SERVICIO	Mayor vida util	Menor vida útil
COSTE DE MANTENIMIENTO	Menor coste de mantenimiento	Mayor coste de mantenimiento
PUESTA DE SERVICIO	Requiere varios días	Puesta en servicio de la superficie asfaltada inmediata
DRENAJE	Menor drenaje	Mayor drenaje, las mezclas asfálticas de granulometría abierta proporcionan un drenaje mayor al permitir el desalojo del agua transversalmente sobre la macro textura superficial que presentan, reduciendo el hidroneo y la proyección de agua.
CONFORT	Menor confort, mayor rapidez	Aumenta la comodidad en la circulación, seguridad puesto que el conductor experimenta una tensión menor al volante a causa del amortiguamiento proporcionado por la capa asfáltica

Fuente: (Perera, 2017)

1.1.9. Estabilización de suelos

– Suelo estabilizado con geomembrana

En cuanto a obras viales los geo sintéticos tienen la función de: separación, refuerzo, filtración y drenaje, estas funciones se convierten en alternativas de solución para problemas que se pueden presentar en la construcción de las obras. (Díaz et al., 2009) Esta estabilización tiene grandes ventajas que otros métodos su fácil colocación, su durabilidad y rentabilidad, hacen que sea muy utilizada *“como inclusiones de refuerzo para mejorar el comportamiento del pavimento”*. (Zornberg, 2013) Dicho de otra manera el término reforzamiento implica la movilización de tensiones en el plano de la geo malla, es así que para (Blanco et al., 2008) *“es la capacidad de distribuir una carga concentrada sobre un área más grande de la sub base, evitando de esta manera la sobre carga local de la capacidad de soporte”*.

– Suelo estabilizado con cemento

Se define como suelo estabilizado con cemento, al producto elaborado a partir de la mezcla de suelos finos y/o granulares, con cemento y agua, la cual se compacta y se

cura para formar un nuevo material con mejores propiedades mecánicas, que garantizan la durabilidad necesaria para satisfacer grandes periodos de diseño.(Corral, 2008)

Una estabilización del suelo se hace necesario para aumentar su durabilidad y resistencia, a fin de evitar desgastes prematuros, la estabilización con cemento es muy utilizada sobre todo en suelo arcillosos, se debe tener mucho cuidado con las cantidades empleadas, ya que un exceso puede dar paso a la aparición de grietas en donde el agua podrá penetrar fácilmente en él produciéndose daños prematuros. (Quevedo et al., 2021)

1.1.10. Fallas viales

Las vías en mal estado disminuyen la calidad de servicio de las mismas, a consecuencia de ello se presentará un aumento en los costos de transporte y sobre todo afectará en la seguridad vial. Una evaluación de la condición del pavimento constante, ayudara a intervenir oportunamente sobre las fallas presentes. (Ríos Cotazo et al., 2020) En la actualidad existen varias técnicas de procesamiento para la detección temprana de las fallas superficiales como las siguientes:

Detección de fallas basadas en técnicas de visión por computador. - Técnicas de descomposición, Enfoque basado en semillas, Métodos de umbral, Otros métodos.

Detección de fallas basadas en técnicas del aprendizaje automático. - Máquinas de soporte vectorial, Arboles de decisión, Redes neuronales, Aprendizaje profundo.

1.1.11. Deterioro vial

Para (Ríos Cotazo et al., 2020), una evaluación oportuna de la condición de una vía es fundamental para mantener la infraestructura vial en óptimas condiciones, a fin de brindar en el usuario de la vía comodidad, rapidez, seguridad y cuidar su economía. Los pavimentos presentan deterioros típicos, por ello se hace necesario buscar criterios y procedimientos para cuantificar y reparar los daños pues, el deterioro de la vía repercute negativamente en el confort de los usuarios.

1.1.12. Evaluación vial

La congestión vehicular en las ciudades es producto del crecimiento poblacional por el aumento a la tendencia del uso del vehículo privado lo que ha provocado una serie de estudios para mitigar los efectos adversos que producen. Dentro de estos estudios es fundamental realizar una evaluación vial, misma que va a requerir definir un área de

influencia que se quiere evaluar, para obtener datos geométricos y de tránsito de esa zona, así como la estimación de los tiempos de viajes, la preferencia modal de transporte. Dentro de las características para evaluar las redes viales se incluyen: datos de volúmenes de tránsito, datos geométricos, niveles de servicio de las intersecciones, capacidad y accesibilidad a las propiedades adyacentes, facilidades de transporte público que sirven la zona y estadísticas de accidentes de tránsito, entre otros. (Quintero et al., 2008)

1.1.13. Evaluación de daños

Para una evaluación de daños en las vías es fundamental, hacer inventarios manuales, así como inspecciones visuales para determinar la gravedad del daño presente en los pavimentos rígidos y flexibles. En los métodos de inspección de carretas se encuentran 3 categorías; a) manuales, b) automáticos y c) vibración.

- a) El método manual consiste, en utilizar un vehículo para viajar por la carreta y observar las imperfecciones que presente la vía e ir apuntando la ubicación del daño y el tipo de fisura.
- b) El método automático se lo realiza incorporando un vehículo como sensor al que se le adaptará cámaras con la finalidad de obtener imágenes de la superficie de la vía.
- c) El método de vibraciones o Dynaflect consiste en la utilización de una fuerza vibratoria, que se coloca sobre el pavimento por medio de dos pequeñas ruedas de metal. (Tello-Cifuentes et al., 2021)

1.1.14. Costos de construcción

Para (Noguera & Rincón de Parra, 2008), los costos en cuanto a la construcción de proyectos viales deberán asociarse con los recursos y elementos que se requieren. Dentro de estos costos se encuentran; maquinarias, mano de obra, equipos, herramientas e instalaciones, subcontratos y cualquier otro costo que no se identifica, de manera directa, con una determinada obra o contrato. En cuanto a la producción de agregados y mezcla asfáltica se encuentran materiales como garzón, cemento, agregados pétreos, las mezclas bituminosas, entre otros. Ya analizado los elementos de costo de producción se deberá seleccionar sistemas como ordenes de trabajo, de proceso y mixto.

1.1.15. Optimización vial

La red vial es un bien nacional que influye de manera muy significativa en el desarrollo socioeconómico de un país, por ello es necesario su conservación, protección, mejoramiento y aumento. El mantenimiento de la red vial es un factor determinante para la satisfacción del transporte en sus distintas modalidades. La falta de mantenimiento preventivo genera deterioro temprano del servicio de la vía y su funcionalidad no será óptima. ((W. Martínez D, 2013)

1.3. ANTECEDENTES CONTEXTUALES

La red vial de la Provincia de El Oro consta de 3126 km, de los cuales 452 constan a nivel de DTB y carpeta asfáltica, habiendo un déficit muy alto con el recubrimiento y mejoramiento de las vías en el sector rural, y ante la falta de canteras que doten de materiales adecuados para la producción de agregados como subbase, base, etc., se hace una necesidad imperiosa aplicar la técnica de estabilización de suelos naturales con cemento, para mejorar las condiciones mecánicas del mismo, ahorrando transporte de materiales, explotación de canteras, etc., y teniendo como una alternativa más económica y amigable con el ecosistema

Chilla

Chilla es uno de los 14 cantones de la provincia de El Oro, cuenta con un área de 389 km^2 , este cantón está ubicado en la parte montañosa de la provincia, a una altitud de 3813 msnm. (Orellana Salas et al., 2018)

El nombre de Chilla proviene según datos registrados del quechua Chailla que significa “Alla está”, donde se refieren a la aparición de la virgen de chilla. Considerandola como “PATRONA DE LA PROVINCIA DE EL ORO”. Otros datos indican que la palabra Chilla proviene de la imitación al chillido o sonido producido por el viento que sopla en el cerro. La cantonización de chilla se dio el 25 de Julio de 1988 siendo así uno de los cantones más jóvenes de la provincia de El Oro. (GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTON CHILLA, 2015)

El cantón chilla cuenta con 2484 personas, dividiéndose en 1274 hombres y 1210 mujeres, donde el mayor número de personas se encuentra en un rango de edades entre 15 y 65 años, luego está la población con edades menores a 15 años y finalmente las personas mayores a 65 años.

Chilla limita:

Tabla 3 Límites del cantón Chilla

<i>NORTE:</i>	<i>Con las Parroquias de Uzhecurrumi y Casacay,</i>
<i>SUR:</i>	<i>Con el Cantón Zaruma y las Parroquias de Arcapamba, Huertas, Cordoncillo y Cantón Atahualpa.</i>
<i>ESTE:</i>	<i>Con las Parroquias de Abañin y Guanazán del Cantón Zaruma.</i>
<i>OESTE:</i>	<i>Cantón Pasaje y Parroquia Buenavista</i>

Fuente: Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Chilla

Debido a las pendientes existe un mayor grado de aptitud de los suelos lo cual ayuda principalmente al desarrollo agropecuario de Chilla. La topografía de Chilla, corresponde como zona montañosa, escarpadas con fuertes pendientes, terrenos con pendientes mayores al 70% se encuentran en un 86,40% (58.781,634 *ha*) de la superficie, en esas áreas se deben fomentar actividades turísticas, investigación y de conservación; luego tenemos suelos con pendientes entre 50 y 70%, con un área de 4186,439 *ha*, ocupando el 6,15%; con pendientes entre 25 y 50% tenemos 2980,697 *ha*, equivalentes al 4,38% de la superficie cantonal; los suelos con pendientes entre 12 – 25% tienen un área de 78,454 *ha*, que corresponde al 0,12%, en donde existen suelos con aptitudes agrícolas situados a menos de 719 msnm. Finalmente en pendientes entre 0 – 12%, abarcan 2003,865 *ha* en la parte baja del cantón con suelos que se encuentran por debajo de los 1290 msnm.

Clima

En Chilla hay principalmente tres tipos de climas:

En la parte alta el clima frío, teniendo una temperatura media anual de 8 –12 °C; en la parte media con un clima templado frío con una temperatura promedio de 12 –15 °C y en la parte baja manteniendo una temperatura entre 20–30 °C en promedio, gracias a este tipo de clima podemos encontrar cultivos de tipo serrano y costeño como: cacao, café, banano, yuca y árboles frutales y por otra parte maíz, papa, cebaba, arveja, haba, melloco, oca, hortalizas, árboles maderables y principalmente pastizales. (GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTON CHILLA, 2015)

La precipitación media anual es de 1.300 mm. Tomando los datos registrados por la estación local más cercana ubicada dentro de la cabecera cantonal Santa Isabel (M032 Santa Isabel), reflejan que los meses de mayor precipitación son los de febrero, marzo y abril con un valor entre 100 y 140 mm/mes. Los meses de menor precipitación son los meses entre junio y octubre con valores entre 20 y 60 mm/día.

Recursos naturales

En la zona alta, existen especies que se desarrollan a más de 3000 de altura, estas especies producen un colchón de agua y estas crean las vertientes del río Casacay, Chillayacu, Chilola y Puyango, esta vegetación son las especies: paja, Chilca, laritaco, laurel, mora, piñan, shalshon, sauco, sabaluco, verbena, salapa. En la zona media se desarrollan de 1500 a 2000 de altura, donde existen especies que son utilizadas para la extracción de madera, construcción, carpintería y leña. Estas especies son: Cedro, guarumo, higuerón, laurel, ajo, balsa, beldaco, Shinin, sarar, guaylo. En la parte baja, se desarrollan la caña guadua, canelo, cedro, copal, Fernán Sánchez, Figueroa, guarumo, guayacán, higuerón, machare, laurel, pambil, pechiche, pigüe, samán, entre otros. (GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTON CHILLA, 2015)

Entorno social

En Chilla, existe una buena cohesión social, debido a que sus habitantes son solidarios, amables y sobre todo se apoyan mutuamente en mingas comunitarias. Existe una inseguridad presente debido a los asaltos a buses y carros particulares en la vía Pasaje – Chilla. Por lo tanto es necesario que exista un comité de seguridad ciudadana, que utilice los mecanismos necesarios para brindar mayor seguridad a la ciudadanía dentro del cantón.

Las actividades económicas del cantón Chilla de acuerdo al INEC 2010, están vinculadas a actividades relacionadas a la agricultura, ganadería, silvicultura y pesca y representa el 64,53 %. El siguiente sector más ocupado es el transporte y almacenamiento, actividades de alojamiento y servicios de comida, enseñanza, administración pública y defensa y representa el 22,23 % que se encuentra relacionado con el comercio al por mayor y menor. El sector de construcción e industrias manufactures, representa el 8,27%. El 1,03% y 3,93 % representa a trabajadores nuevos y no declarados. (GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTON CHILLA, 2015)

Redes Viales y de transporte del cantón Chilla

A nivel cantonal las redes viales que son de pavimento rígido corresponden a las calles principales y ocupan el 59,55% del total de las vías. Las calles lastradas ocupan 8,98%. Las vías de tierra constituyen el 31,46% y corresponden a guardarrayas, vías en construcción y caminos de herradura, la mayoría de las vías no cuentan con alcantarillas.

La vialidad a los sectores rurales del cantón tiene conexión desde la cabecera cantonal hasta la parte baja conectándose por intermedio de la vía Chilla –Pasaje. Las vías internas de cada comunidad son de segundo orden. El transporte para movilidad de personas y bienes se dan desde Chilla hasta Pasaje, lo hacen por la vía Chilla –Pasaje. Otra vía es la carretera desde Chilla a Loja, pasando por Guanazan, Manú, Saraguro.

CAPITULO II

2. METODOLOGIA

2.1. TIPO DE ESTUDIO

Exploratorios: Se realizará la investigación mediante un análisis documental-cuantitativo del objeto de estudio a través interpretación y apropiación de la información de fuentes primarias y secundarias como métodos de diseño ASSHTO 93

Con los datos recopilados se procedió a la descripción de la información acuerdo a las variables propuestas en la investigación que fueron relacionadas con los trabajos de tipo documental y de campo, determinando los resultados que servirán para concluir con el trabajo de investigación. Posterior al análisis se concluye con la alternativa más económica para el diseño de espesores utilizando un mejoramiento de suelo con la utilización del cemento como estabilizador para vías de segundo orden.

2.2. PARADIGMA

Todo paradigma de investigación se apoya en sistemas filosóficos y se operacionaliza mediante un sistema de investigación. Así el paradigma positivista opera a través de un sistema Hipotético-deductivo, por ello nuestra investigación se inclina hacia un paradigma positivista, debido a que utiliza métodos de investigación científicos, por lo tanto, se considera la posibilidad de estudiar científicamente, los hechos de fenómenos, datos, lo observables y lo verificable.(Melchor & Martinez, 2002)

2.3. ENFOQUE

Existen tres tipos de enfoques en la investigación: cualitativo, cuantitativo y método mixto de investigación. (Lisboa, 2016) El enfoque es cuantitativo, debido a que la presente investigación se basa en la recolección de datos y análisis, para responder a preguntas y probar la hipótesis, y se lleva a cabo mediante la medición numérica, el conteo y uso estadístico, por ello se recolectara datos del entorno de la investigación como muestra de suelos, trafico, clima, etc. Para el análisis de los espesores de pavimento mediante el uso de cemento como estabilizador en vías de segundo orden.

2.4. POBLACION

De acuerdo a la población de vías de segundo orden de la provincia de El Oro se tomó como objeto de estudio la vía Chilla- Quera de acuerdo a la exploración realizada por GAD Provincial de El Oro desde la abscisa 0+000 hasta la 15+120 vía que conecta Chilla con el resto de cantones de la provincia. Siendo este el único ingreso al cantón Chilla. Con ello se logró identificar de 15120 m de vía.

2.5. METODOS TEORICOS EMPLEADOS

Método Científico “Es el procedimiento planteado que se sigue en la investigación para descubrir las formas de existencia de los procesos objetivos, para desentrañar sus conexiones internas y externas, para generalizar y profundizar los conocimientos así adquiridos, para llegar a demostrarlos con rigor racional y para comprobarlos en el experimento y con las técnicas de su aplicación.” (Ramón, 2007)

De acuerdo a las necesidades de nuestro tipo de trabajo se emplean los métodos de investigación: Teóricos (análisis y síntesis documental) donde se revisaron varios artículos científicos, palabras claves, artículos de la web, tesis, estudios de otros autores, normativas, etc. y las (de campo), que consistieron en levantamiento de la información en el terreno, encuestas, toma de muestras de materiales para el análisis de suelos, inventario de la red vial provincial, trabajos de campo similares aplicados en el medio. Nos permitirá para fundamentar teórica, conceptualmente y técnicamente mediante una revisión bibliográfica de trabajos investigativos similares con la finalidad de hacer análisis y mejorar las propuestas planteadas por otros autores.

2.6. METODOS EMPIRICOS EMPLEADOS

De campo: Se realizó levantamiento de información in situ, tomando muestra de suelos existentes para ser analizados y realizarles los ensayos necesarios. Las técnicas del trabajo de campo será la observación y la exploración del terreno mediante los instrumentos como lista de cotejo, mapas y dispositivos tecnológicos para registro de terreno.

Diseño de pavimentos mediante AASTHO 93

Vida del pavimento

Los períodos de análisis recomendados por la AASHTO 93 son los siguientes:

Tabla 4 Tiempos de vida en función del tipo de vía

TIPO DE CAMINO	PERIODO DE ANALISIS
GRAN VOLUMEN DE TRÁNSITO URBANO	30 - 50 años
GRAN VOLUMEN DE TRÁNSITO RURAL	20 - 50 años
BAJO VOLUMEN PAVIMENTADO	15 - 25 años

Fuente: AASHTO 93

Serviciabilidad P0 y Pt

Es la capacidad de un pavimento para servir al tipo de tránsito para el cual ha sido diseñado, se denomina como Serviciosabilidad. Para diseñar un pavimento se elige la Serviciosabilidad inicial P_0 y la Serviciosabilidad final P_t , los valores recomendados son:

Tabla 5 Serviciosabilidad

SERVICIABILIDAD INICIAL
$P_0 = 4,5$ para pavimentos rígidos
$P_0 = 4,2$ para pavimentos flexibles
SERVICIABILIDAD FINAL
$P_t = 2,5$ o más para caminos muy importantes
$P_t = 2,0$ para caminos de menor tránsito

Fuente: AASHTO 93

Para el diseño de nuestro pavimento escogemos $P_0 = 4,2$ que corresponde a Serviciosabilidad inicial para pavimentos flexibles, y $P_t = 2,0$ por tratarse de caminos de poco tránsito.

Desviación standard S_0 Y confiabilidad Z_r

Tabla 6 Desviación estándar

Condición de diseño	Desvió standard (so)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento sin errores de tránsito	0,34 (pav. Rígido)
	0,44 (pav. Flexible)
Variación en la predicción del comportamiento del pavimento con errores de tránsito	0,39 (pav. Rígido)
	0,49 (pav. Flexible)

Fuente: AASHTO 93

La probabilidad de que el sistema estructural que forma el pavimento cumpla la función prevista contemplada en su vida útil bajo las condiciones que se presenten en ese lapso se denomina CONFIABILIDAD. Cuando se aspira a un nivel de confiabilidad alto, implica un pavimento más costoso y mayores costos iniciales, pero los costos de mantenimiento serán menores. Para un nivel de confiabilidad bajo se tendrá pavimentos más económicos, pero con mayor costo de mantenimiento.

Tabla 7 Confiabilidad

R	ZR
50%	0
60%	-0.25
70%	-0.53
80%	0.84
90%	1.28
95%	1.65

Fuente: AASHTO 93

Módulo resiliente (mr)

En el método AASHTO 93 se reemplaza el CBR de la subrasante, sub-base y base por el módulo resiliente, que es un módulo de deformaciones dinámico que tiene en cuenta sólo las deformaciones recuperables, no las permanentes o plásticas; se lo denomina con las letras Mr.

Ilustración 1 Modulo resiliente

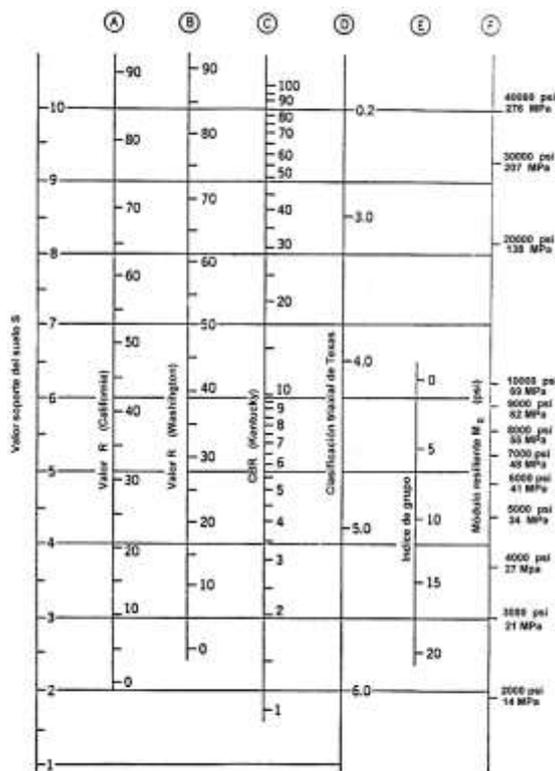


Figura 4.23. Correlaciones con el módulo resiliente

Fuente: AASHTO 93

Coefficientes de drenaje (mi)

Se elimina el factor regional Fr, función de la precipitación anual del lugar y se lo reemplaza por coeficientes de drenaje, mayores o menores que la unidad, para tener en cuenta el drenaje y el tiempo en que las capas granulares están sometidas a niveles de

humedad próximos a la saturación, sólo se los aplica a sub-base y base no tratadas. En las siguientes tablas se indica la calidad del drenaje en función del tiempo necesario para que el material de base y sub - base alcance el 50 al 85% del grado de saturación.

Tabla 8 Calidad de drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	50% SATURACION	85% SATURACION
EXCELENTE	2 HORAS	2 HORAS
BUENO	1 DIA	2 - 5 HORAS
REGULAR	1 SEMANA	5 - 10 HORAS
POBRE	1 MES	MAS DE 10 HORAS
MUY POBRE	EL AGUA NO DRENA	MUCHO MAS DE 10 HORAS

Fuente: AASHTO 93

Esta calidad de drenaje se expresa en la fórmula de dimensionado (número estructural) a través de uno de los coeficientes de drenaje m1. Ver tabla siguiente.

Tabla 9 Coeficientes de drenaje

CALIDAD DEL DRENAJE	% DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD PRÓXIMOS A LA SATURACIÓN			
	< 1 %	1 - 5 %	5 - 25 %	> 25 %
EXCELENTE	1,40-1,35	1,35-1,3	1,30-1,20	1.20
BUENO	1,35-1,25	1,25-1,15	1,15-1,0	1.00
REGULAR	1,25-1,15	1,15-1,05	1,0-0,8	0.80
POBRE	1,15-1,05	1,05-0,80	0,8-0,6	0.60
MUY POBRE	1,05-0,95	0,95-0,75	0,75-0,4	0.40

Fuente: AASHTO 93

Espesor estructural del pavimento

Estos se determinan por medio de ábacos en los que encontraremos las variables de entrada:

- Tránsito estimado por trochas, W18, a lo largo de la vida útil del pavimento
- Confiabilidad R
- Desvío estándar de todas las variables So
- Módulo efectivo de la subrasante Mr
- Pérdida de Serviciabilidad APSI

Colocar capas de un espesor menor al mínimo requerido no es práctico ni económico. El espesor de una capa tiene gran efecto en la base y sub-base ya que reduce la entrada de agua en la estructura del pavimento. Valores de espesores mínimos sugeridos para capas de concreto asfáltico y base granular en función del tránsito.

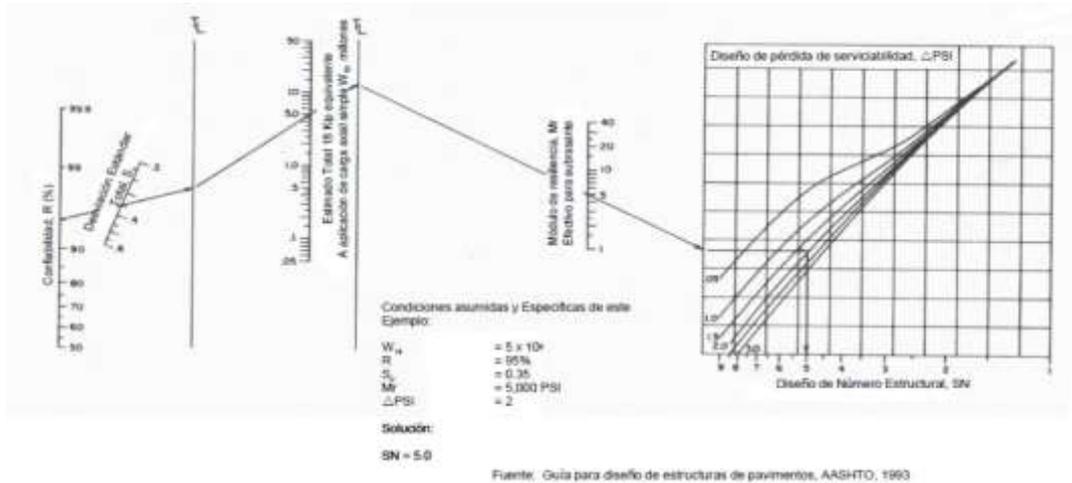
$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * m_2 * D_2 + a_3 * m_3 * D_3$$

Donde:

a_1, a_2, a_3 , son los coeficientes estructurales o los espesores de capa en pulgadas

m_2, m_3 , son los coeficientes de drenaje de base y sub-base respectivamente.

D_1, D_2, D_3 , son los espesores de capas en pulgadas.



Fuente: AASHTO 93

CAPITULO III

3. PROPUESTA METODOLOGÍA

3.1. INFORMACIÓN GENERAL

Modelo de optimización de estructuras de vías de segundo orden.

3.2. ANTECEDENTES DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Optimización de espesores de pavimentos con aplicación de geo-sintéticos

En la investigación realizada por Nuñez Condori en 2016 se puede observar el análisis de una estructura de pavimento utilizando geo sintéticos para reducir espesores de pavimentos, es así que con este método logra reducir volúmenes de subbase, transporte de material, optimización de costos, reducción en el iMPacto ambiental y en tiempo de ejecución de obra, todo este proceso se optimiza con la utilización de una geomalla llegando a tener diseños más eficientes.

Optimización de espesores de bases estructurales estabilizadas con cemento mediante la modelación estructural en la carretera la Costanera, departamento de Piura, para reducir costos de inversión

Céspedes Farfán en su trabajo realiza una estabilización de suelo con cemento, cuyo objetivo resulta ser igual que nuestro trabajo, el cual es reducir los espesores de la estructura vial y así optimizar recursos en la construcción. El autor realiza los diseños propuestos utilizando la metodología AASHTO 93 y posteriormente verifica a través del método racional. El trabajo sirve como guía para determinar el proceso a seguir, como el estudio de tráfico y suelo, entre otros.

3.3. JUSTIFICACION

Esta investigación está fundamentada en poder generar una alternativa de desarrollo vial en zonas rurales a través de la implementación de la técnica de suelo cemento en suelos de tipo blando. Esta alternativa trae beneficios representados en menores tiempos de viaje, acceso de vehículos de mayor capacidad, mayor acceso de los pobladores a servicios que puedan suplir sus necesidades, y en general menores costos de

transporte lo cual puede mejorar la calidad de vida de los campesinos, agilizando la distribución de los productos y dinamizando la economía de la zona.

3.4. OBJETIVO

Elaborar un modelo de optimización de estructuras viales que influyan en vías de segundo orden en la zona rural del tramo Quera – Chilla de 15.12 km mediante el uso de cemento que establezcan y mejoren las características del suelo existente en la zona.

3.5. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

Optimización multiobjetivo para el mantenimiento y rehabilitación de pavimentos toma de decisiones: una revisión crítica y direcciones futuras

Más del 90% de los estudios existentes eligieron como objetivos de optimización el desempeño y el costo de agencia, sin embargo, los indicadores de seguridad, como el rendimiento antideslizante y la tasa de accidentes, rara vez se seleccionan como objetivos de optimización. Además dependiendo de los objetivos se deberán seleccionar objetos de optimización apropiados como el pavimento en vías urbanas, costos de demora, indicadores de seguridad y objetivos más sostenibles y específicos en módulos de tomas de decisiones.(Chen & Zheng, 2021)

Estabilización de la subrasante del pavimento mediante polímeros: Caracterización y Desempeño

Los resultados demuestran que los aglutinantes poliméricos modifican los suelos de la subrasante, lo que da como resultado propiedades de ingeniería más favorables: por ejemplo, las resistencias a la compresión de los suelos estabilizados con polímeros son superiores a las de los suelos no estabilizados y a los estabilizados con cemento. Los resultados del análisis demostraron aún más los beneficios de usar suelos estabilizados para mejorar el desempeño del pavimento.(Iyengar et al., 2012)

Práctica recomendada para Estabilización de suelos de subrasante y materiales base

El Instituto Americano del Concreto (ACI) define al suelo - cemento como una mezcla de suelo, una cantidad de cemento y agua mezclada a alta densidad. El suelo-cemento ha sido clásicamente definido como un suelo estabilizado en el cual el agregado grueso, arena y partículas más grandes (más grueso que 75 μm) están unidas por una pasta

de cemento y partículas finas de suelo. Los suelos deben examinarse para determinar el contenido orgánico y el contenido de sulfato antes de verificar si el cemento Portland es un estabilizador aceptable..(National Academies of Sciences, 2009)

El primer paso para determinar el contenido de cemento requerido es clasificar el suelo, para luego con la **Tabla 10** plantear un punto de partida a considerar en el tratamiento. Estos contenidos de cemento se basan sobre una base de datos de evidencia empírica de mezclas de suelo cemento que han demostrado ser capaces de cumplir los requisitos de durabilidad establecidos en AASHTO T135 y T136 o sus respectivas normas ASTM equivalentes D559 y D560.

Tabla 10 Estimación preliminar del contenido de cemento

AASHTO Grupo de suelo	Rango usual de requerimiento de cemento		Contenido estimado de cemento, porcentaje por peso
	Porcentaje por volumen	Porcentaje por peso	
A-1-a	5-7	3-5	5
A-1-b	7-9	5-8	6
A-2	7-10	5-9	7
A-3	8-12	7-11	9
A-4	8-12	7-12	10
A-5	8-12	8-13	10
A-6	10-14	9-15	12
A-7	10-14	10-13	13

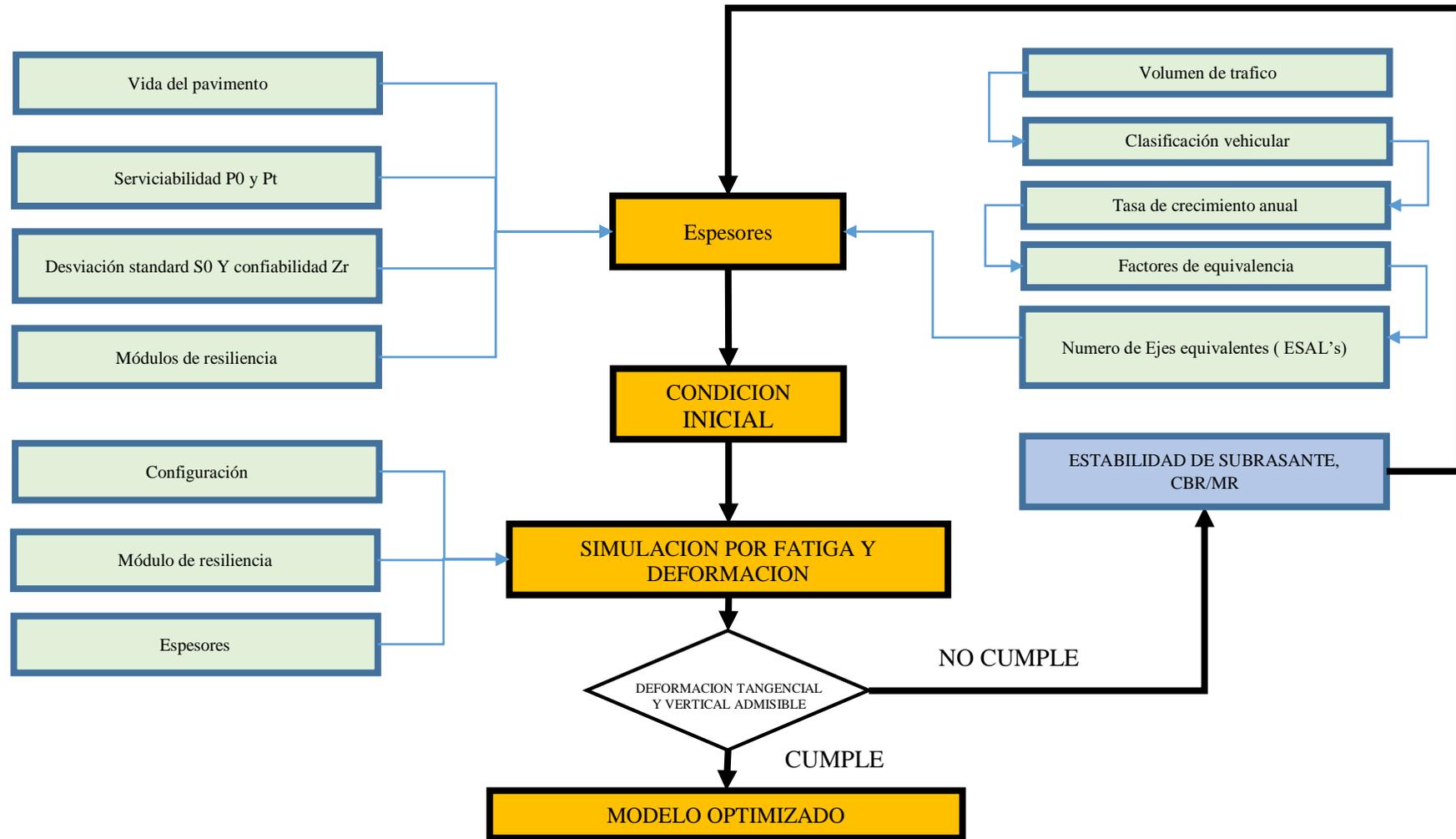
Fuente: *Práctica recomendada para Estabilización de suelos de subrasante y materiales base* (National Academies of Sciences, 2009)

Análisis y optimización de diseño de pavimentos flexibles

El autor evalúa los indicadores como: Costo de pavimento, Análisis del ciclo de vida, estrategias de diseño. Los cuales sirven para el diseñador al poder seleccionar el espesor inicial óptimo del pavimento, espesor de superposición y tiempo de superposición. El modelo desarrollado combina el procedimiento de diseño de la Asociación Estadounidense de Oficiales de Transporte y Carreteras Estatales (AASHTO) y la solución elástica multicapa mecanicista. La sección típica del pavimento se analizó bajo diferentes volúmenes de tráfico y propiedades del material. Se determinó la estrategia de diseño óptima que produce el mínimo costo total de pavimento en cada caso. (Mamlouk et al., 2000)

3.6. **MODELO OPERATIVO**

Ilustración 2 Modelo de optimización de estructuras viales



Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV

4. ANALISIS Y DISCUSION DE LOS RESULTADOS

4.1. CONDICION INICIAL

4.1.1. Espesores

Estudio de trafico

El pronóstico del volumen y composición del tráfico se basa en el tráfico actual. Los diseños se basan en una predicción del tráfico a 15 o 20 años y el crecimiento normal del tráfico, el tráfico generado y el crecimiento del tráfico por desarrollo. En el caso de transporte por carretera, las categorías de tráfico serán determinadas a través de conteos y clasificación de vehículos por tipo, en el área de influencia de la vía y mediante informaciones complementarias obtenidas durante los conteos del volumen del tráfico. Los conteos volumétricos realizados abarcan períodos de 5 días consecutivos.

Tabla 11 Cuadro de conteo de trafico

CUADRO DE CONTEO DE TRÁFICO TPDA DE LA VIA CHILLA - QUERA			
TIPO DE VEHÍCULOS	TRAMO1 (0+000-INICIO HASTA 15+000)		
	SENTIDO QUERA - CHILLA	SENTIDO CHILLA - QUERA	Total
AUTOMOVILES	21	29	50
CAMIONETAS	38	30	68
BUSES	1	1	2
CAMIONES DE 2 EJES	2	2	4
CAMIONES DE 3 EJES	0	0	0
CAMIONES DE MAS DE TRES EJES	0	0	0
TOTAL VEHÍCULOS			124
TOTAL VEHÍCULOS LIVIANOS			
118			
TOTAL VEHÍCULOS PESADOS			
6			

Fuente: Elaboración propia

En nuestro País los indicadores más convenientes para fijar la tendencia a largo plazo sobre el crecimiento del tráfico, están dados por el incremento de volumen de tráfico debido al aumento normal en el uso de los vehículos. Deberá tenerse en cuenta la utilización de la indicadora del crecimiento del parque automotor nacional. Para propósito del proyecto de los indicadores se desprende actualmente que la tasa de Crecimiento de

Automotores supere el 7% anual, ya que según el Manual de Diseño de Carreteras (MOP – 001 – E),

En el pronóstico del volumen y composición del tráfico, los diseños se basan en una predicción del tráfico de 15 a 20 años y el crecimiento del tráfico previsto incluye el crecimiento normal del tráfico. Las proyecciones del tráfico se usan para la clasificación de las carreteras e influyen en la determinación de la velocidad de diseño y de los demás datos geométricos del proyecto.

Numero de ejes equivalentes

Tabla 12 Calculo de ejes equivalentes

TIPO DE VEHICULO	TPDA ASIGNADO	PESO (TON)	FACTOR DE EQUIVALENCIA DE CARGA	PORCENTAJE VEHÍCULOS	FACTOR CAMIÓN	NRO. ESAL'S (8.2 TON)
LIVIANOS	153	2.5	0.003			
BUSETA	0	10	0.572	0%	0	0
BUSES	0	17	3.897	0%	0	0
2DA	3	10	0.572	38%	0.214	0.643
2DB	5	17	3.897	63%	2.43	12.178
3A	0	26	3.736	0%	0	0
3S2	0	46	6.813	0%	0	0
3S3	0	50	4.942	0%	0	0
					2.65	12.82

NRO. ESAL'S (8.2 TON) [ND]	FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DIRECCIONAL [FD]	FACTOR CARRIL [FC]	NRO. AÑOS [N]	TASA DE CRECIMIENTO [I]	ESAL'S
12.82	0.5	1	20	6%	86078

Fuente: Elaboración propia

Vida del pavimento

El período de análisis se toma para una vía de bajo volumen de tráfico como 20 años.

Serviciabilidad P0 y Pt

Para el diseño de nuestro pavimento escogemos $P_0=4,2$ que corresponde a Serviciosabilidad inicial para pavimentos flexibles, y $P_t = 2,0$ por tratarse de caminos de poco tránsito.

Desviación standard S_0 Y confiabilidad Z_r

Con un nivel de confiabilidad óptimo la sumatoria de los costos iniciales y de mantenimiento resulta mínimo. La confiabilidad se la representa con la letra R y se tomara el 90%.

Módulos de resiliencia

El índice de soporte de California (C.B.R.) es un valor que determina la resistencia al esfuerzo cortante o capacidad de carga de un suelo, bajo determinadas condiciones de densidad y humedad del mismo.

Ilustración 3 CBR



Fuente: Elaboración propia

Con el valor del CBR se calcula el módulo de resiliencia de la subrasante, esto podrá realizarse mediante el Abaco de la ilustración 2, o partiendo de la siguiente formula:

$$Mr = 1500 * CBR$$

Dando como resultado un módulo de resiliencia de 4110 *psi*

Coefficientes de drenaje (mi)

En la vía se recomienda realizar la colocación, en ciertos tramos de Mejoramiento de la sub-rasante con Sub-Base Clase II y Base Clase I, estos materiales cuentan con un

drenaje regular por lo que se toma como *drenaje de subbase* = 0.8 y *drenaje de base* = 0.8

Espesor estructural del pavimento

Para facilitar el cálculo de los espesores de la estructura de pavimento se optó por el uso de un programa de diseño, el cual requiere los datos obtenidos anteriormente, para finalizar con el número estructural y los espesores mínimos.

Ilustración 4 Cálculo de espesores

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coefficiente de capa (ai)	Coefficiente de drenaje (mi)	SN necesario	Espesor D (plg.)	Espesor D* (plg.)	SN* dispuesto
1	435000	¿E/a?	0.440	1.38	3.14 3.5	3.5	1.54
2	28000	¿E/a?	0.131	1.70	1.53 2.0	4.0	0.42
3	17000	¿E/a?	0.120	2.89	9.70 10.0	10.0	0.96
4	4110	MR					2.92 OK

Fuente: Elaboración propia Programa Método AASHTO 93

Es así que con el método AASHTO se diseñó la estructura del pavimento obteniendo los espesores que servirán como condición inicial en el modelo.

Tabla 13 Espesores de condición inicial calculados

CAPA	ESPESOR (PLG)
	CONDICION INICIAL
CARPETA ASFALTICA	3.5
BASE	4
SUB-BASE	10

Fuente: Elaboración propia

4.2. SIMULACION POR FATIGA Y DEFORMACIÓN

A continuación, se obtuvo los valores de deformaciones, utilizando el programa ALIZE, el cual mediante los espesores y módulos de resiliencia permiten simular el

comportamiento de la estructura frente a una carga de diseño. El programa se basa en el cálculo analítico de la resistencia mediante el módulo de elasticidad medido en superficie, el cual utiliza los métodos de placa de carga estática y dinámica en modelos multicapa.

Para el cálculo de las deformaciones del estado inicial se ingresaron los datos de entrada, los cuales son los espesores de la condición inicial, junto al módulo de resiliencia de cada material como se observa a continuación:

Ilustración 5 Datos de ingreso en ALIZE

Basis structure				
	thick. (m)	modulus (MPa)	Nu	material type
bonded	0.088	3000	0.35	other
bonded	0.10	193	0.35	other
bonded	0.26	117	0.35	other
bonded	infinite	28	0.35	other

Fuente: Elaboración propia Programa ALIZE-LCPC

Una vez realizada la simulación se obtienen los datos de la siguiente imagen, donde se observan la deformación y esfuerzo tangencial, además de la deformación y esfuerzo vertical de cada capa.

Ilustración 6 Deformaciones condición inicial

C:\...IDEFORMACIONES\DEF.dat							
thick. (m)	modulus (MPa)	Poisson coefficient	Zcalcul (m)	EpsT (µdef)	SigmaT (MPa)	EpsZ (µdef)	SigmaZ (MPa)
0.088	3000.0	0.350	0.000	-1.9	0.422	-186.7	0.720
			0.088	-371.3	-1.496	388.9	0.193
0.100	193.0	0.350	0.088	-371.3	-0.002	972.0	0.193
			0.188	-401.4	-0.058	648.9	0.091
0.260	117.0	0.350	0.188	-401.4	-0.017	840.6	0.091
			0.448	-429.9	-0.058	553.1	0.027
infinite	28.0	0.350	0.448	-429.9	-0.003	1006.2	0.027

Fuente: Elaboración propia Programa ALIZE-LCPC

En los resultados se tiene como deformación tangencial dentro de la capa de asfalto un valor del 371.3, el cual mediante el cálculo de fatiga indica un tráfico admisible del 36598 ejes, el cual es inferior al tráfico de diseño lo que se revela que la carpeta asfáltica fallara antes de lo calculado. En cuanto a la deformación vertical en la capa de la subrasante se tiene un valor de 1000 µdef, basándonos en las fórmulas estipuladas en Orobio & Gil, se calcula que la deformación vertical admisible es de 1373 µdef, el cual esta muy cerca de lo obtenido en la estructura.

Este proceso se repitió con las interacciones realizadas en los diseños, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 14 Valores de fatiga y deformación

FATIGA		DEFORMACION	
TRAFICO ADMISIBLE		DEFORMACIÓN VERTICAL DE SUBRASANTE	
36598	FALLA	1006	OK
55901	OK	439	OK
115764	OK	411	OK
133037	OK	406	OK
168127	OK	399	OK

Fuente: Elaboración propia

4.3. MODELO OPTIMIZADO

Para la estabilidad del suelo, se estableció que la mezcla de suelo estabilizado con cemento tipo SC3 con módulo resiliente de 1000 MPa, será el óptimo para el diseño, con un espesor de 15 cm.

Tabla 15 Material de mejoramiento

SUELO NATURAL		MEJORAMIENTO			
CBR (%)	CBR (MPa)	MODULO RESILIENTE MEJORAMIENTO (MPa)	ESPESO R (m)	DEFLECCION (mm/100)	NUEVO MODULO RESILIENTE (MPa)
2.7	28	0	0	470	28.0
		1000	0.15	152	86.78

Fuente: Elaboración propia

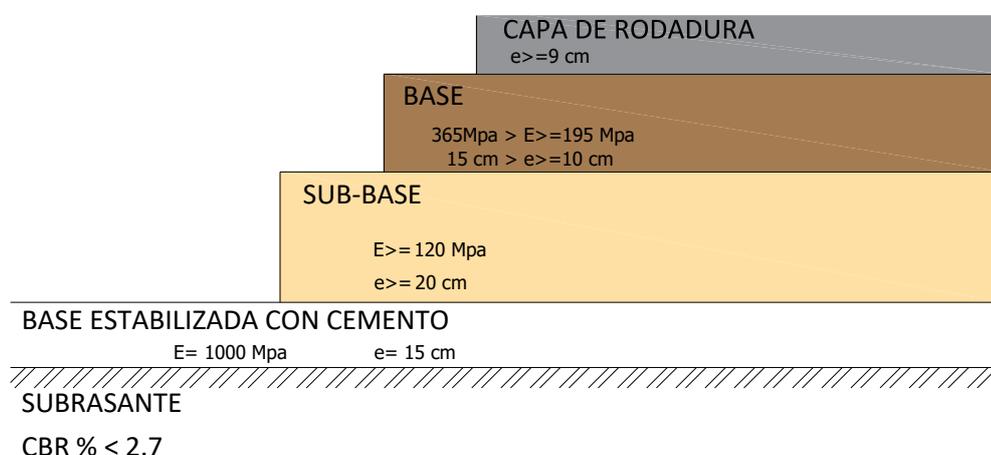
Finalmente se obtiene el modelo optimizado para un pavimento con las características que se describen en la **Tabla 15**; debe entenderse que los valores obtenidos están dentro del rango de la capacidad de soporte del suelo (CBR), y el número de ejes equivalentes para la Vía Chilla – Quera.

Tabla 16 Características del Modelo optimizado

CARACTERISTICAS MINIMAS		
CBR	< 2.7%	
ESAL'S (W18= 8.2 TON)	50000 A 170000	
CAPA	ESPESOR	MÓDULO DE ELASTICIDAD
CAPA DE RODADURA	$e \geq 9 \text{ cm (3.5plg)}$	$E > 3000 \text{ Mpa}$
BASE	$15\text{cm} > e \geq 10 \text{ cm}$	$365 \text{ Mpa} > E \geq 195 \text{ Mpa}$
SUB-BASE	$e \geq 20 \text{ cm}$	$E \geq 120 \text{ Mpa}$
BASE ESTABILIZADA (SUELO CEMENTO)	$e = 15 \text{ cm}$	$E = 1000 \text{ Mpa}$

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 7 Modelo optimizado



Fuente: Elaboración propia

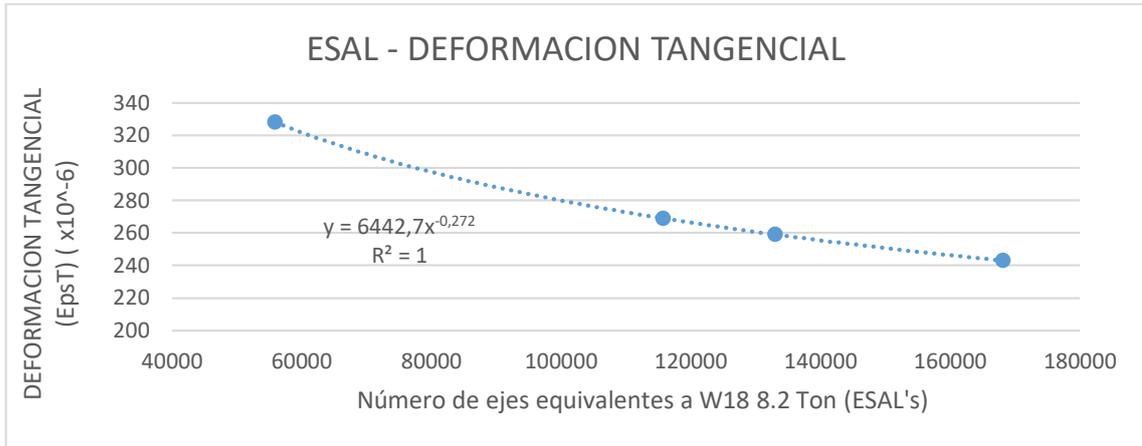
Con los resultados obtenidos se establece una relación matemática mediante la correlación entre el número de ejes equivalentes y la deformación tangencial provocada en la capa de rodadura como indicamos en la ilustración 9 y la correlación entre el número de ejes equivalentes y la deformación vertical provocada en la subrasante como se muestra en la ilustración 10.

Con estas relaciones podemos indicar que nos encontramos dentro del rango admisible con un valor de $1373 \mu def$, según el artículo de Orobio & Gil. Por lo tanto, los diseños de pavimentos optimizados estarán debajo de las correlaciones determinadas en las ilustraciones, como se describen a continuación:

Para la relación: *ESAL's – Deformacion tangencial*

$$EpsT (10^{-6}) = 6442.7ESAL's^{-0.272}$$

Ilustración 8 Grafica ESAL's – Deformación Tangencial

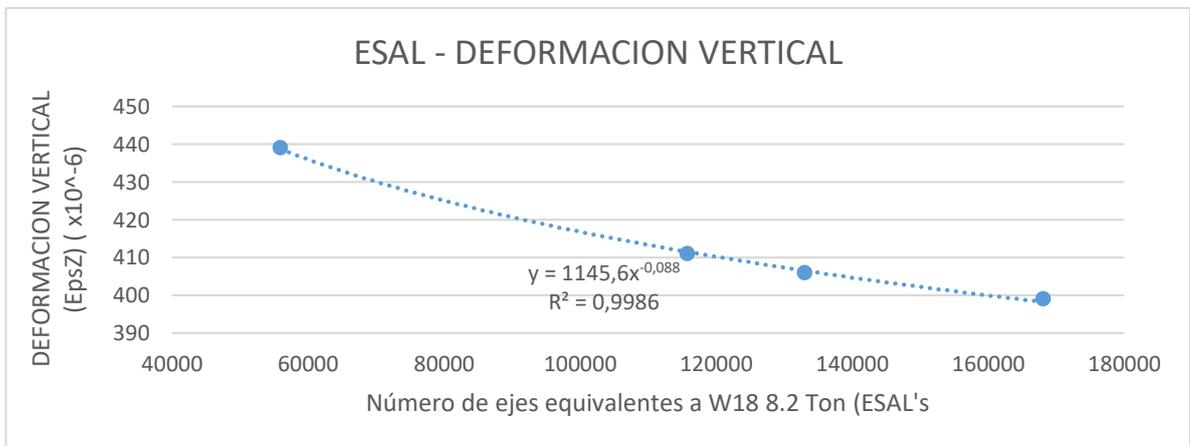


Fuente: Elaboración propia

Para la relación: *ESAL's – Deformacion vertical*

$$EpsZ (10^{-6}) = 1145.6ESAL's^{-0.088}$$

Ilustración 9 Grafica ESAL's – Deformación Vertical



Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES

- Se obtuvo los fundamentos teóricos y técnicos partiendo de la revisión bibliográfica de artículos científicos relacionados a la optimización de los espesores de pavimentos en estructuras viales, donde se encontraron diversos criterios como el mantenimiento, la mezcla de materiales para la estabilización de suelos, la aplicación de normas internacionales en el diseño, entre otros, los cuales sirvieron como base para la elaboración del modelo que permita la reducción de los costos de construcción en vías de segundo orden.
- Se analizaron los espesores de pavimento mediante criterios de evaluación como lo fue los cálculos de fatiga y deformación, donde se establecen rangos máximos admisibles, los cuales mediante la configuración correcta de espesores y módulos de resiliencia permitirá una reducción de los costos de construcción en vías de segundo orden.
- Se elaboró un Modelo de optimización de espesores de pavimentos que permita la reducción de los costos de construcción en vías de segundo orden, donde se indica como condición inicial el cálculo de espesores mediante el Método ASSHTO 93, donde se obtuvo como primera interacción un espesor de carpeta asfáltica de 3.5 plg, una base de 4 plg, y una subbase de 10.5 plg. para posteriormente realizar las simulaciones por fatiga dando un tráfico admisible con la primera interacción de 36598 ESAL's valor menor al tráfico de diseño y deformaciones de la subrasante dentro de los parámetros permitidos, estos valores de falla de la capa de rodadura y deformación vertical admisible de la subrasante se los realizó mediante el programa ALIZE, como lo especifica en la **Tabla 14**, el cual se basa en el cálculo analítico de la resistencia mediante el módulo de elasticidad medido en superficie y utiliza los métodos de placa de carga estática y dinámica en modelos multicapa. Con estos resultados se propone el modelo de optimización con las características de la **Tabla 16**, donde indica que la capa de rodadura será de espesor mayor a 9 cm, base entre 10 y 15 cm, subbase mayor a 20 cm y una estabilización de suelo-cemento de 15 cm.

RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos se debe tener en cuenta que el modelo de optimización del presente trabajo de investigación tiene las siguientes características; El ESAL's debe encontrarse entre 50000 y 170000 ejes equivalentes, para un CBR 2.7% y con 15 cm de base estabilizada con cemento; cualquier valor de diseño que no se encuentre en este rango se recomienda utilizar el proceso metodológico para casos específicos de diseño
- La propuesta metodológica se plantea para diseño de pavimento flexibles bajo cargas vehiculares mínimas, en las que el método AASHTO no conviene utilizar debido a que sus parámetros diseñan espesores en función de criterios empíricos sin tomar en consideración las condiciones puntuales del tramo de vía en estudio, como es el caso de la vía Chilla-Quera.
- Se recomienda la optimización de 2 métodos para el diseño de pavimentos para tramos de vía con carga vehicular mínima, como es el caso del método empírico (AASHTO) y el método analítico (métodos de placa de carga estática y dinámica en modelos multicapa)

BIBLIOGRAFIA

- Baque-Solis, B. (2020). Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta. Provincia de Manabí - Dialnet. *Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7398457>
- Blanco, C., Grupp, ; Federico, & Voirol, E. (2008). Plan de estudio para la evaluación del comportamiento de un pavimento flexible reforzado con geosintéticos Study plan to evaluate the behavior of reinforced with geosynthetics flexible pavement. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 29(1), diciembre-marzo.
- Céspedes Farfán, J. E. (2022). *Optimización de espesores de bases estructurales estabilizadas con cemento mediante la modelación estructural en la carretera la Costanera, departamento de Piura, para reducir costos de inversión*. <http://hdl.handle.net/10757/660161>
- Chen, W., & Zheng, M. (2021). Multi-objective optimization for pavement maintenance and rehabilitation decision-making: A critical review and future directions. *Automation in Construction*, 130, 103840. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2021.103840>
- Corral, J. T. (2008). *Ciencia y Sociedad*. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87012672003>
- Crespo, C. (2004). *VIAS DE COMUNICACION: CAMINOS, FERROCARRILES, AEROPUERTOS, PUENTES Y PUERTOS - Carlos Crespo Villalaz, Carlos Crespo - Google Libros* (Editorial Limusa S.A. de C.V. Grupo Noriega, Ed.; 3a.edi). C.V. Grupo Noriega .
- Depestre, G., Martínez, D., & García, D. (2012). *Seguridad vial en carreteras rurales de dos carriles. Provincia de Villa Clara, Cuba Highway safety of rural two lane roads. Province of Villa Clara, Cuba*. 16(1).
- Díaz, J., Escobar, O., & Olivo, E. (2009). *Aplicación de los geosintéticos en la drenaje para carreteras [UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR]*. https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2100/1/Aplicacion_de_los_geosint%C3%A9ticos_en_la_estructura_de_los_pavimentos_y_en_obras_de_drenaje_para_carreteras.pdf
- GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTON CHILLA. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Chilla*.

- <https://docplayer.es/87249363-Plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-de-chilla-gobierno-autonomo-descentralizado-municipal-del-canton-chilla-concejo-cantonal-de-chilla.html>
- Iyengar, S. R., Masad, E., Rodriguez, A. K., Bazzi, H. S., Little, D., & Hanley, H. J. M. (2012). Pavement Subgrade Stabilization Using Polymers: Characterization and Performance. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(4), 472–483. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0000612](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000612)
- Lisboa, J. C. (2016). *Apuntes sobre métodos de investigación Notes on Research Methods*. 18–25. <http://www.medisur.sld.cu/index.php/medisur/article/view/2977>
- López, Campo, E., Parra, ;, & Montañez, A. (2019). Análisis comparativo de la infraestructura vial entre Colombia y Ecuador en el siglo XXI Comparative analysis of road infrastructure between Colombia and Ecuador in the 21st century Contenido. *Revista Espacios* , 40, 42.
- Mamlouk, M., Zaniewski, J. P., & He, W. (2000). *Analysis and design optimization of flexible pavement*.
- Melchor, J., & Martinez, A. (2002). Los Sistemas de Investigación en México. *Cinta de Moebio.*, 14. <http://redalyc.uaemex.mx>
- Monsalve Tabares, K. A., Rodriguez Villamizar, A. C., Torrado Barreto, F. J., & Vergara Cala, J. E. (2022). Patologías de la estructura vial del pavimento rígido. *Revista Formacion Estrategica*, 542.
- MTOP. (2013). *VOLUMEN N° 2: NORMA PARA ESTUDIOS Y DISEÑOS VIALES*.
- National Academies of Sciences, E. and M. (2009). Recommended Practice for Stabilization of Subgrade Soils and Base Materials. *Recommended Practice for Stabilization of Subgrade Soils and Base Materials*. <https://doi.org/10.17226/22999>
- Noguera, M., & Rincón de Parra, H. (2008). ¿Cómo determinar costos en la industria de la construcción? Estudio de un caso. *Visión Gerencial*. <https://www.redalyc.org/pdf/4655/465545878006.pdf>
- Núñez Condori, A. (2016). *Optimización de espesores de pavimentos con aplicación de Geo-Sintéticos*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2056>

- Oblitas-Gastelo, B. E., Ingrid, ;, Medina-Cardozo, I., Carmen, ;, & Paredes-Asalde, R. (n.d.). Índice de regularidad internacional e índice de condición de pavimento para definir niveles de serviciabilidad de pavimentos International evenness index and pavement condition index for defining pavement serviceability levels. *Revista ITECKNE-Universidad*, 18(2), 2021–2170. <https://doi.org/10.15332/iteckne>
- Orellana Salas, J. A., Lalvay Portilla, T. D. C., Orellana Salas, J. A., & Lalvay Portilla, T. D. C. (2018). Uso e importancia de los recursos naturales y su incidencia en el desarrollo turístico. Caso Cantón Chilla, El Oro, Ecuador. *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, 14(1), 65–79. <https://doi.org/10.4067/S0718-235X2018000100065>
- Orobio, A., & Gil, J. (2015). Análisis de costos de construcción asociados al diseño racional de pavimentos con diferentes modelos de fatiga. *Revista Ingeniería de Construcción*, 30(3), 177–188. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732015000300003>
- Perera, A. (2017). *Pavimentos flexibles y pavimentos rígidos*. UNIFORT PAVIMENTOS INDUSTRIALES. <https://www.unifort.es/pavimentos-industriales/pavimentos-flexibles-pavimentos-rigidos/>
- Quevedo, F., Ávila, M., & Calle, C. (2021). Análisis de costos entre estabilización suelo cemento y el mantenimiento periódico de vías rurales en la Provincia del Cañar - Dialnet. *DIALNET*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8231656>
- Quintero, Á. ;, Palmar, M. ;, Andueza, P. ;, Casanova, L. Y., & Díaz, M. (2008). Assessment evaluation of traffic impact studies and offers for execution and implementation. *Revista Ciencia e Ingeniería*, 29(3), 243–248.
- Ramón, R. (2007). El método científico y sus etapas. *México, Disponible En Http://Www.Ilustrados.Com/Documentos/Metodocientífico-Etapas*, 43.
- Ríos Cotazo, N. X., Bacca Cortés, B., Caicedo Bravo, E., & Orobio Quiñónez, A. (2020). Revisión de métodos para la clasificación de fallas superficiales en pavimentos flexibles. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 30(2), 109–127. <https://doi.org/10.18359/RCIN.4385>
- Tello-Cifuentes, L., Aguirre-Sánchez, M., Díaz-Paz, J. P., & Hernández, F. (2021). Evaluación de daños en pavimento flexible usando fotogrametría terrestre y redes neuronales. *TecnoLógicas*, 24(50), e1686. <https://doi.org/10.22430/22565337.1686>

- Torres, R. (2017). El Modelo peruano para el desarrollo de caminos rurales The Peruvian model for the development of rural roads Resumen. *Revista de Ingeniería*.
- W. Martínez D. (2013). Vista de Red Vial de Nicaragua (Optimización y Mantenimiento). *NEXO Revista Científica*.
<https://www.lamjol.info/index.php/NEXO/article/view/1209/1036>
- Zornberg, J. (2013). Sistemas de pavimentos reforzados con geosintéticos - Dialnet. *Dialnet*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4497181>

ANEXOS

ANEXO: ENSAYO CBR

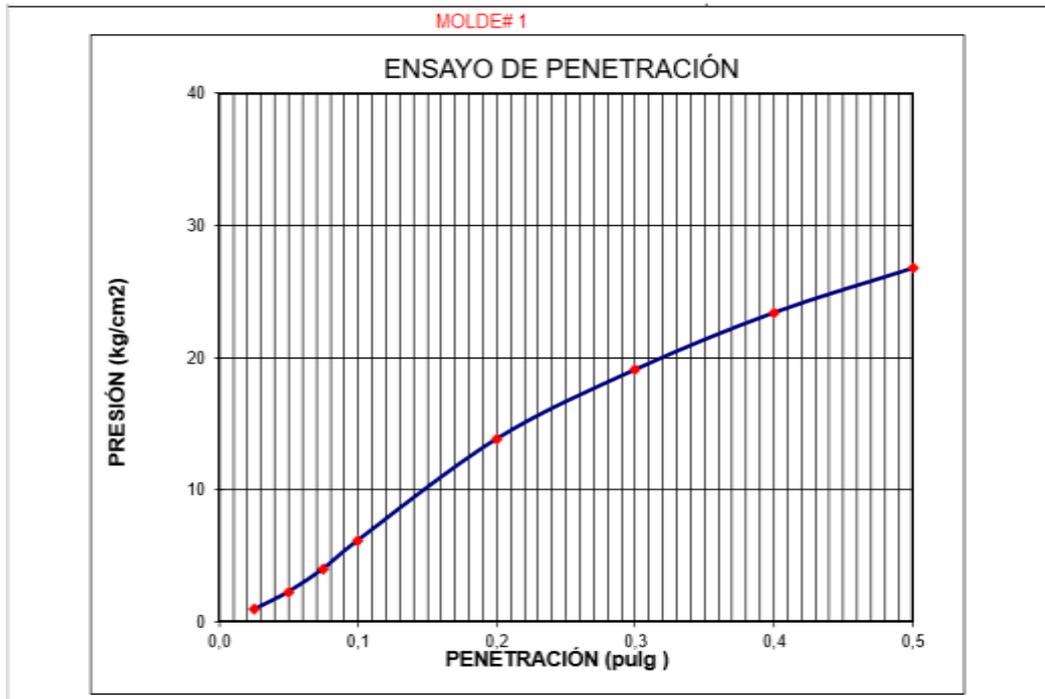
UNIVERSIDAD DE MACHALA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS C.B.R.														
PROYECTO :								N° DE CAPAS :					5	
DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL :								FECHA :						
ABSCISA:								MUESTRA #					PROFUNDIDAD :	
MOLDE N°	1 - 10006560				2 - 10006642				3 - 10005398					
N DE GOLPES POR CAPAS	56				25				12					
PESO MOLDE (gr)	7861				7394				7534					
ALTURA DE LA MUESTRA Hm (cm)	11,68				11,68				11,68					
DIAMETRO DEL MOLDE D (cm)	15,2				15,2				15,2					
VOLUM MUEST V=(π.D²/4)*H	2119,44				2119,44				2119,44					
CONDICIÓN DE MUESTRA	ANTES DE SATURAR		DESPUÉS DE SATURAR		ANTES DE SATURAR		DESPUÉS DE SATURAR		ANTES DE SATURAR		DESPUÉS DE SATURAR			
PESO MUESTRA HUMED + MOLDE (gr)	12191		11787		11578		11390		11131		10957			
PESO MUESTRA HÚMEDA (gr)	4.330		3.926		4.184		3.996		3.597		3.423			
DENSIDAD HÚMEDA gr/cm³	2.043		1,852		1,974		1,885		1,697		1,615			
HUMEDAD	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO	ARRIBA	ABAJO		
RECIENTE N	R118	R14	R50	R37	R35	R22	R309	X110	R575	R80	R299	R59X		
PESO RECIENTE gr.	9,74	9,68	9,62	9,69	9,58	9,49	9,64	9,72	9,53	9,69	9,65	9,56		
P. MUEST. HUM + REC. gr.	30,56	30,98	50,18	49,76	30,74	30,09	52,45	52,57	30,88	30,85	50,39	50,91		
P. MUEST. SECA + REC. gr.	26,81	27,24	39,06	39,95	26,54	26,44	40,88	41,07	27,26	27,43	38,85	39,91		
PESO AGUA gr.	3,75	3,74	11,12	9,81	4,2	3,65	11,57	11,5	3,62	3,42	11,54	11		
PESO MUESTRA SECA gr.	17,07	17,56	29,44	30,26	16,96	16,95	31,24	31,35	17,73	17,74	29,2	30,35		
CONT. DE HUMEDAD %	21,97	21,30	37,77	32,42	24,76	21,53	37,04	36,68	20,42	19,28	39,52	36,24		
HUMEDAD PROMEDIO %	21,633		35,095		23,149		36,859		19,848		37,882			
DENSIDAD SECA gr/cm³	1,680		1,371		1,603		1,378		1,416		1,171			

PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA			
MOLDE N°	1	2	3
PESO MUESTRA HUM + MOLDE DESP. SATURAR (gr.)	11.787	11.390	10957
PESO MUESTRA HUM + MOLDE ANTES. SATURAR (gr.)	12.191	11.578	11131
PESO AGUA ABSORBIDA (gr)	-404	-188	-174
PORCENTAJE DE AGUA ABSORBIDA	-9,330	-4,493	-4,837
ALTURA DE LA MUESTRA (mm)	117,00	116,00	117,00

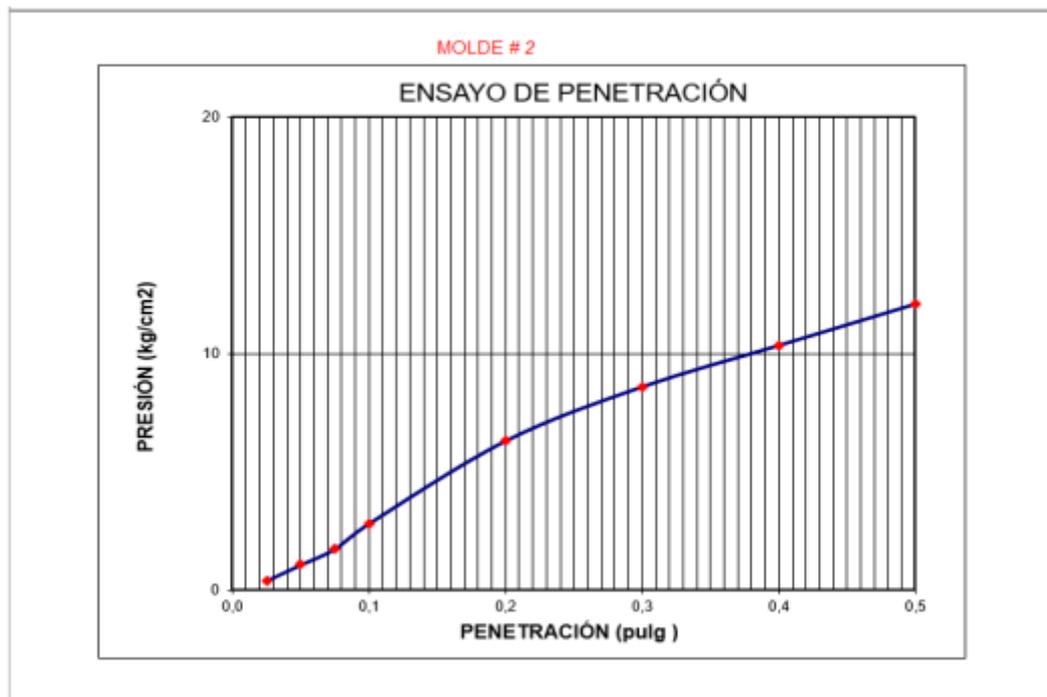
ESPONJAMIENTO										
FECHA Y HORA	TIEMPO EN DÍAS	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		LECT DIAL 1/10 ⁻² mm EXTERIOR	LECT DIAL INFERIOR mm	ESPONJAMIENTO %	LECT DIAL 1/10 ⁻² mm EXTERIOR	LECT DIAL INFERIOR mm	ESPONJAMIENTO %	LECT DIAL 1/10 ⁻² mm EXTERIOR	LECT DIAL INFERIOR mm	ESPONJAMIENTO %
		LECT. INICIAL	0	0	0	0,00%	0	0	0,00%	45
11/11/2003	1	45	0	0,38%	36	36	31,08%	21	-24	-20,33%
	2	60	15	13,33%	72	72	62,15%	52	7	6,43%
	3	80	35	30,60%	98	98	84,60%	69,8	24,8	21,79%
	4	88	43	37,50%	100	100	86,32%	72	27	23,69%

PENETRACIÓN										
Cte. Anillo de Carga: 2.6 kg/2x10-3 mm										
PENETRACIÓN pulg X10-3	CARGAS TIPO kg/cm2	MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		LEC DIAL 2x10 ⁻⁴ mm	PRESIÓN kg/cm2	CBR % Correg	LEC DIAL 2x10 ⁻⁴ mm	PRESIÓN kg/cm2	CBR % Correg	LEC DIAL 2x10 ⁻⁴ mm	PRESIÓN kg/cm2	CBR % Correg
25		7	0.94		3	0.40		1	0.13	
50		17	2.28		8	1.07		3	0.40	
75		30	4.03		13	1.75		5	0.67	
100	70	46	6.18	8.83	21	2.62	4.03	8	1.07	1.54
200	105	103	13.84	13.2	47	6.32	6.01	17	2.28	2.18
300	133	142	19.08		64	8.60		23	3.09	
400	161	174	23.38		77	10.35		29	3.90	
500	182	199	26.74		90	12.09		33	4.43	

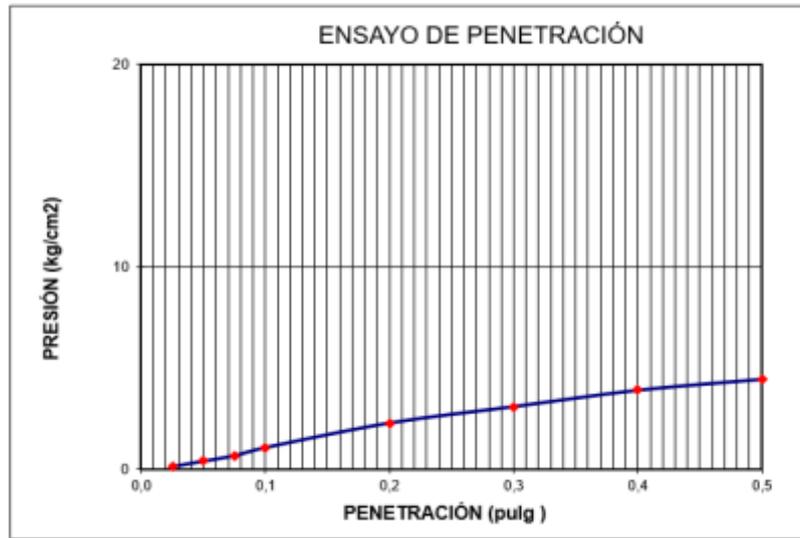
PENETRACIÓN	PRESIÓN
pulg.	lb/pulg2
0,025	0,941
0,050	2,284
0,075	4,031
0,100	6,181
0,200	13,840
0,300	19,080
0,400	23,380
0,500	26,739



PENETRACIÓN	PRESIÓN
pulg.	lb/pulg2
0,025	0,403
0,050	1,075
0,075	1,747
0,100	2,822
0,200	6,315
0,300	8,599
0,400	10,346
0,500	12,093



PENETRACIÓN	PRESIÓN
pulg.	lb/pulg2
0,025	0,134
0,050	0,403
0,075	0,672
0,100	1,075
0,200	2,284
0,300	3,090
0,400	3,897
0,500	4,434



13,18	1,680
6,01	1,603
2,18	1,416

C.B.R. %	DENSIDAD SECA
corregido	gr / cm ³
2,75	1,680
2,41	1,603
2,04	1,416



C.B.R. de diseño: 2.74 %

Anexo 2

MEMORIA FOTOGRAFICA:

Vía Chilla – Quera – Tramo 1.

Ilustración 10 Vía Chilla – Quera – Tramo 1.



Ilustración 11 Vía Chilla – Quera – Tramo 1.



Ilustración 12 Vía Chilla – Quera – Tramo 1.



Ilustración 13 Vía Chilla – Quera – Tramo 1.



Ilustración 14 Vía Chilla – Quera – Tramo 1.



Ilustración 15 Vía Chilla – Quera – Tramo 1.



Ilustración 16 Vía Chilla – Quera – Tramo 1.



Ilustración 17 Vía Chilla – Quera – Tramo 1.

