

Mechanistic-Empirical Analysis of Platanares Road, Vásquez de Coronado County

José P. Aguiar-Moya¹; Esteban Vargas²; Fabián Alfaro Solano³; Alejandra Baldi⁴

¹Universidad Fidélitas, San Pedro, Costa Rica, jaguiar@ufidelitas.ac.cr

²Universidad Fidélitas, San Pedro, Costa Rica, evargas70751@ufide.ac.cr

³Universidad Fidélitas, San Pedro, Costa Rica, falfaro80880@ufide.ac.cr

⁴Universidad Fidélitas, San Pedro, Costa Rica, abaldi@ufidelitas.ac.cr

*Corresponding author

Abstract– The county of Vásquez de Coronado in the province of San José, Costa Rica, is made up of five districts, Patalillo, San Isidro, San Rafael, Dulce Nombre de Jesús and Cascajal, where there is great economic activity in each of its districts. In several areas, the activities that are most dominant are farming and tourism, which are carried out mostly in the upper part of the districts of Dulce Nombre de Jesús and Cascajal, being in the latter where the street called Platanares is located. The street does not currently allow transit because of the damaged state it is in. However, said route would be an important connection between National Route 216 and National Route 307 allowing greater efficiency to movement of goods. That is why in this research the data obtained from materials, climate and traffic of the area is being processed and analyzed based on an empirical mechanistic pavement design methodology using a linear elastic multilayer software to determine the stresses, deflections and especially unit deformations required by transfer equations in the mechanistic models to calculate fatigue compliance by cracked area, longitudinal cracks, and total deformation and rutting. With the data obtained, a base design was made that was iterated twice, optimizing the design in cost as structural capacity, complying with a specific design for the area analyzed for the analysis time established according to the hierarchical level chosen based on the roads' characteristics and demonstrating the efficiency of mechanistic empirical methods over current empirical methodologies.

Keywords– empirical mechanistic design, pavements, modeling, HMA

Análisis Mecánico-Empírico de la calle Platanares en el cantón de Vázquez de Coronado

Resumen— El cantón de Vázquez de Coronado en la provincia de San José, Costa Rica, se compone de cinco distritos, Patalillo, San Isidro, San Rafael, Dulce Nombre de Jesús y Cascajal, en donde en cada uno de sus distritos se da gran actividad económica en varios ámbitos. Sin embargo, las actividades que tiene más auge son las ganaderas y turísticas, las cuales se llevan a cabo en su gran mayoría en la parte alta de los distritos de Dulce Nombre de Jesús y Cascajal, siendo en este último donde se ubica la calle llamada Platanares, la cual se encuentra intransitable. No obstante, dicha ruta sería una importante conexión entre la Ruta Nacional 216 y la Ruta Nacional 307, permitiendo el tránsito expedito de mercaderías. Es por eso por lo que en esta investigación se utilizaron los datos obtenidos de materiales, clima y tráfico de la zona para ser procesados con una metodología mecánica empírica y con el apoyo de un software de análisis multicapa elástica para determinar los esfuerzos, deflexiones y especialmente deformaciones unitarias. Se pudo estimar, mediante el uso de ecuaciones de transferencia mecánicas, el cumplimiento de fatiga por área agrietada, grietas longitudinales, deformación total y ahuellamiento. Con los datos obtenidos se realizó un diseño base que fue iterado dos veces, optimizando el diseño tanto en costo como en capacidad estructural, cumpliendo un con un diseño específico para la zona analizada para el tiempo de análisis establecido, según el nivel jerárquico elegido a raíz de las características de la calle. Con esto se demuestra la eficiencia de las metodologías mecánicas empíricas vs las metodologías empíricas que tradicionalmente son utilizadas.

Palabras clave—diseño mecánico empírico, pavimentos, modelación, MAC.

I. INTRODUCCIÓN

El cantón de Vázquez de Coronado se compone de cinco distritos, Patalillo, San Isidro, San Rafael, Dulce Nombre de Jesús y Cascajal, en donde en cada uno de sus distritos se da gran actividad económica en varios ámbitos. Sin embargo, las actividades que tiene más auge son las ganaderas y turísticas, las cuales se llevan a cabo en su gran mayoría en la parte alta de los distritos de Dulce Nombre de Jesús y Cascajal, siendo estos últimos de las zonas más importantes en las que se dan dichas actividades. Es aquí donde ubica la calle conocida como calle Platanares, la cual tiene una longitud de aproximadamente 5860 metros, atravesando los distritos de Cascajal y Dulce Nombre de Jesús. La Calle Platanares debido a sus condiciones actuales no es una vía que las personas del cantón de Vázquez tienen como opción a utilizar para sus actividades económicas, ya que existe un tramo de aproximadamente 800 metros que es intransitable, lo cual divide la calle en dos, por lo cual es de gran importancia contar con esta calle en buen estado, ya que sería la conexión entre las Rutas Nacionales 216 y la 307, trayendo consigo múltiples beneficios a las zona. Por ello, se decidió realizar la investigación de la calle con el fin determinar y analizar

mecánica como empíricamente un diseño de la calle Platanares capaz de soportar el clima abrasivo existente de la zona, así como la configuración de materiales y tráfico proyectado.

Según lo mencionado por [1], la infraestructura vial de un país constituye un pilar fundamental en el desarrollo económico. Para asegurar el cumplimiento de la vida útil de las vías, diversos entes a nivel mundial han desarrollado mecanismos para controlar tanto la calidad de los materiales a utilizar como los diseños de la infraestructura. Desde la aparición de la Guía de Diseño de la AASHTO en 1993 se fijó la necesidad de tomar en cuenta las cargas reales que transitaban sobre los pavimentos [2]. Es por ello por lo que en este trabajo se utilizó como base la metodología AASHTO-93 preliminarmente, ya que es una forma en la que se puede determinar espesores base por medio de las ecuaciones propuestas por este método.

Como mencionan [3] desde un punto de vista mecánico, la carga aplicada a los pavimentos está directamente relacionada con el peso y las dimensiones de los vehículos que transitan sobre estos. Mayores niveles de carga conducen a una mayor probabilidad de daños en carreteras y puentes, con la consecuente disminución de la capacidad de carga estructural. Además de lo anterior, el incremento en carga lleva consigo un efecto considerable en el comportamiento dinámico del vehículo que repercute sobre su estabilidad. Por lo tanto, se consideró la metodología mecánica empírica (ME) en esta investigación con el fin de poder obtener una respuesta por medio de las ecuaciones de transferencia propuestas por las guías ME para el diseño de pavimentos flexibles desarrolladas previamente.

El diseño de pavimento utilizando el diseño Mecánico-Empírico es un proceso iterativo: los resultados del procedimiento son desgastantes y precisos, no son capas de gran espesor. El diseñador primero considera las condiciones del sitio (es decir, tráfico, clima, subrasante, condición del pavimento existente para rehabilitación) al proponer un diseño de prueba para un nuevo pavimento o estrategia de rehabilitación. Luego, se evalúa la idoneidad del diseño de prueba frente a las necesidades del usuario, así como criterios de rendimiento y valores de confiabilidad a través de la predicción de problemas. Si el diseño no cumple con los criterios de desempeño deseados con la confiabilidad especificada, es revisado, evaluado y repetido según sea necesario. Por lo tanto, el diseñador está completamente involucrado en el proceso de diseño y tiene la flexibilidad de considerar diferentes características de diseño y materiales para satisfacer el criterio de desempeño por las condiciones del sitio [4,5].

II. METODOLOGÍA

Los datos de esta investigación fueron extraídos de conteos vehiculares realizados por el Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT) en varios puntos de la Ruta Nacional 216, desde el año 1988 al año 2018 siendo este último el conteo más actualizado que se tiene en dicha base de datos [6]. Este dato se utiliza para obtener los ejes equivalentes los cuales definen la carga vehicular a la que la estructura del pavimento será expuesta. Además, se realizó una calicata para extracción de material del suelo existente en el tramo de la calle Plataneros que se encuentra intransitable, con el fin de conocer la calidad, características, módulo de resiliencia y tipo de suelo, que fueron utilizados durante todo el proceso de análisis. Las fuentes y datos analizados se basan en reportes de laboratorios privados que aportaron información valiosa como características del suelo y de la mezcla asfáltica en caliente.

Además, la información de precios actualizados disponible en el Sistema Integrado de Compras Públicas (SICOP) [7] es vital para el cálculo presupuestario de los diseños evaluados, así como investigaciones, Trabajos Finales de Graduación, Tesis, Guías sobre el método mecánico-empírico, también artículos de revistas científicas, que tengan relación con el tema en estudio. Adicionalmente, como fuentes de consulta se utilizan las Normas Técnicas, base de datos pública de la Municipalidad de Vázquez de Coronado y artículos científicos relacionados.

Finalmente, se utiliza un sistema de multicapa elástica para el análisis mecánico de la información recopilada, siendo este de gran importancia para la obtención de datos como deformaciones, deflexiones y esfuerzos en los puntos donde se requiera, tal como el sistema de información Geográfica QGIS, siendo una herramienta importante para el procesamiento de la información disponible y creación de mapas para mayor comprensión de la ubicación del tramo analizado y la importancia de su mejoramiento [8].

III. RESULTADOS

Al procesar la información por medio del software Pitrapave [9] y con las ecuaciones de transferencia se obtuvo un diseño base que no cumplía con los criterios límites de falla, siendo necesaria la iteración del diseño, por lo cual se obtuvo un segundo diseño que cumplió con los criterios límite, siendo los siguientes datos el diseño de la iteración 1 (Tabla I).

TABLA I
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA PROPUESTA, ITERACIÓN 1.

Capa	Espesor (in)	Espesor (cm)	MR (psi)
CA	6.299	16.00	743731
Base	6.299	16.00	28000
Subbase	28.74	73.00	15000
Subrasante	-	-	2800

Seguidamente, se presentan los datos de las deformaciones unitarias máximas obtenidas de la modelación en el software de multicapa elástica, siendo “ ϵ_{yy} ” las deformaciones tangenciales y “ ϵ_{zz} ” las deformaciones verticales (Tabla II).

TABLA II
RESUMEN DE DEFORMACIONES UNITARIAS VERTICALES - ITERACIÓN 1.

Capa	Punto analizado	ϵ_{yy} (μ s)	ϵ_{zz} (μ s)
MAC	Fibra superior	137.22	-
MAC	Fibra del medio	-	65.723
MAC	Fibra inferior	137.22	-
Base	Fibra del medio	-	241.98
Subbase	Fibra del medio	-	165.23
Subrasante	Fibra superior	-	237.73
Subrasante	6 in por debajo de la superficie de la subrasante	-	203.75

Así mismo, se presentan los resultados obtenidos al utilizar las ecuaciones de transferencia para el daño acumulado y porcentaje de agrietamiento del carril de diseño para el periodo de diseño establecido, siendo este de 15 años según la clasificación de la carretera (Tabla III).

TABLA III
RESULTADOS DE DAÑO ACUMULADO Y PORCENTAJE DE AGRIETAMIENTO-ITERACIÓN 1.

Año	ESALs	ESALs Acumulados	Daño Relativo (%)	Daño Acumulado (%)	Se	FC (%)	FC Confiabilidad 75%
1	708103	708103	4.646	4.646	8.409	0.000	6.307
2	743508	1451611	4.878	9.523	10.448	0.001	7.837
3	780683	2232294	5.122	14.645	11.225	0.007	8.426
4	819717	3052011	5.378	20.023	11.615	0.026	8.737
5	860703	3912714	5.647	25.670	11.843	0.070	8.952
6	903738	4816453	5.929	31.599	11.990	0.162	9.155
7	948925	5765378	6.226	37.824	12.091	0.335	9.403
8	996372	6761750	6.537	44.361	12.165	0.636	9.759
9	1046190	7807940	6.864	51.225	12.220	1.130	10.295
10	1098500	8906440	7.207	58.432	12.262	1.908	11.105
11	1153425	10059864	7.567	65.999	12.296	3.082	12.304
12	1211096	11270960	7.946	73.944	12.323	4.790	14.032
13	1271651	12542611	8.343	82.287	12.346	7.189	16.448
14	1335233	13877844	8.760	91.047	12.364	10.435	19.708
15	1401995	15279839	9.198	100.245	12.380	14.663	23.947

En la Figura 1 se muestra el porcentaje de daño durante el periodo analizado. Se observa que para el año 15 el porcentaje área agrietada es de aproximadamente 24%, por lo cual no supera el límite de 35% indicado en con una línea punteada de color rojo, cumpliendo por agrietamiento por fatiga para todo el periodo de diseño.

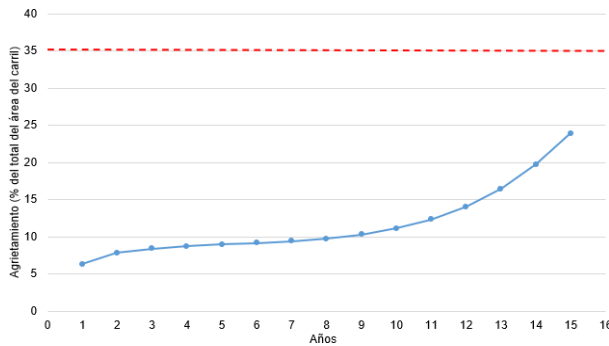


Fig. 1 Porcentaje de agrietamiento para la estructura de la iteración 1.

Se presentan los resultados obtenidos al utilizar las ecuaciones de transferencia para la verificación de grietas longitudinales para el periodo de diseño establecido. Se puede visualizar que el valor de grietas longitudinales por milla (FcTOP) para cada año no excede el límite para el límite de 2000 ft/milla establecido (Tabla IV).

TABLA IV
RESULTADOS DE DAÑO ACUMULADO Y GRIETAS LONGITUDINALES PARA ESTRUCTURA DE ITERACIÓN 1.

Año	Daño relativo (%)	Daño acum. (%)	Fctop (ft/milla)	SeFCtop-D	Fctop (ft/milla)
1	4.646	4.646	4.361	653.045	494.145
2	4.878	9.523	16.489	704.697	545.012
3	5.122	14.645	36.557	735.663	588.304
4	5.378	20.023	65.117	758.168	633.742
5	5.647	25.670	102.851	776.043	684.883
6	5.929	31.599	150.516	790.996	743.763
7	6.226	37.824	208.917	803.935	811.868
8	6.537	44.361	278.877	815.406	890.431
9	6.864	51.225	361.227	825.757	980.545
10	7.207	58.432	456.779	835.228	1083.201
11	7.567	65.999	566.305	843.991	1199.298
12	7.946	73.944	690.510	852.170	1329.638
13	8.343	82.287	830.011	859.862	1474.907
14	8.760	91.047	985.302	867.141	1635.658
15	9.198	100.245	1156.732	874.066	1812.281

Posteriormente se muestran los resultado obtenidos de la verificación para deformación y ahuellamiento, como se observa en la Figura 2, la estructura tiene una deformación permanente total mejor que 16.5 mm (0.65 in) para todos los años, siendo este el criterio límite de falla, por lo tanto, cumple por ahuellamiento. Se puede visualizar que la línea de deformación total no interseca con el criterio límite de falla siendo este la línea punteada de color rojo.

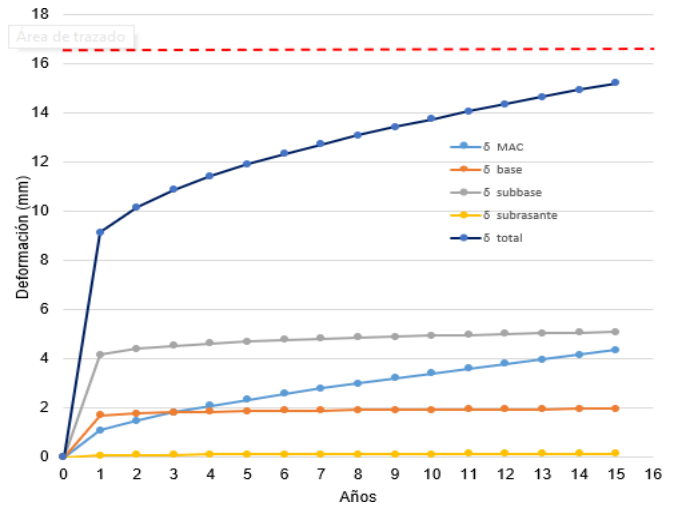


Fig. 2 Deformación permanente en la estructura de la iteración 1.

Con la estructura iterada se procede a realizar presupuesto de la construcción de la estructura, teniendo esta un valor de \$334,600,094.50 (Tabla V).

TABLA V
PRESUPUESTO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO - ITERACIÓN 1.

Elemento	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Total	Unidad	Precio Unitario (€)	Precio Total (€)
Excavación	800	5	1.05	4200	m3	6,279.57	31,649,023.73
Asfalto	800	5	0.16	1536	Ton	95,883.12	147,276,474.78
Base	800	5	0.16	832	m3	43,728.82	27,986,444.22
Sub-Base	800	5	0.73	3796	m3	43,728.82	127,688,151.77
Total	-	-	-	-	-	-	334,600,094.50

No obstante, se puede optimizar el modelo para bajar los costos, sin embargo, esto implicó agregar una capa de base estabilizada y reforzar las capas inferiores. Para ello, se realiza una segunda iteración con el fin de optimizar el diseño y mejorar tanto el desempeño como el costo (Tabla VI).

TABLA VI
CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA PROPUESTA, ITERACIÓN 2.

Capa	Espesor (in)	Espesor (cm)	MR (psi)
CA	4.72	12.00	743731
Base Estabilizada	6.3	16.00	540000
Subbase	15.75	40.00	15000
Material de sustitución	11.811	30.00	8000
Subrasante	-	-	2800

Seguidamente, se presentan los datos requeridos para el cálculo de fatiga con la inclusión de la base estabilizada (Tabla VII).

TABLA VII
DATOS PARA EL CÁLCULO DE FATIGA CON BASE ESTABILIZADA

Descripción	Valor
Nf	3.089x10 ¹²
δ tensión fibra inferior BE (psi)	55.974
β3 material granular	1.0259
β4 material granular	1.1368
Mrup 28 días (PSI)	200
Módulo resiliente BE (PSI)	5,400,000

En la Tabla VIII se muestra el porcentaje de daño durante el periodo analizado. Se observa que para el porcentaje área agrietada se redujo considerablemente al agregar una base estabilizada con cemento, por lo cual, no supera el límite de 35%, cumpliendo por agrietamiento por fatiga para todo el periodo de diseño.

TABLA VIII
RESULTADOS DE DAÑO ACUMULADO Y PORCENTAJE DE AGRIETAMIENTO-
ITERACIÓN 2.

Año	Daño relativo (%)	Daño acum. (%)	Fctop (ft/milla)	SeFCtop-D	Fctop (ft/milla)
1	0.0000	0.0000	0.500	0.000	0.375
2	0.0000	0.0000	0.500	0.000	0.375
3	0.0000	0.0001	0.500	0.000	0.375
4	0.0000	0.0001	0.500	0.000	0.375
5	0.0001	0.0001	0.500	0.000	0.375
6	0.0000	0.0002	0.500	0.000	0.375
7	0.0000	0.0002	0.500	0.000	0.375
8	0.0000	0.0002	0.500	0.000	0.375
9	0.0000	0.0003	0.500	0.000	0.375
10	0.0000	0.0003	0.500	0.000	0.375
11	0.0000	0.0003	0.500	0.000	0.375
12	0.0000	0.0004	0.500	0.000	0.375
13	0.0000	0.0004	0.500	0.000	0.375
14	0.0000	0.0004	0.500	0.000	0.375
15	0.0000	0.0005	0.500	0.000	0.375

Se presentan los resultados obtenidos al utilizar las ecuaciones de transferencia para la verificación de grietas longitudinales para el periodo de diseño establecido (Tabla IX). Se puede visualizar que el valor de grietas longitudinales por milla (Fctop) para cada año no excede el límite para el límite de 2000 ft/milla establecido.

TABLA IX
RESULTADOS DE DAÑO ACUMULADO Y GRIETAS LONGITUDINALES PARA
ESTRUCTURA DE ITERACIÓN 2

Año	Daño relativo (%)	Daño acum. (%)	Fctop (ft/milla)	SeFCtop-D	Fctop (ft/milla)
1	708103	708103	0.0017	0.0017	0.0000
2	743508	1451611	0.0018	0.0035	0.0000
3	780683	2232294	0.0019	0.0054	0.0000
4	819717	3052011	0.0020	0.0074	0.0000
5	860703	3912714	0.0021	0.0095	0.0000
6	903738	4816453	0.0022	0.0117	0.0001
7	948925	5765378	0.0023	0.0140	0.0001
8	996372	6761750	0.0024	0.0164	0.0001
9	1046190	7807940	0.0025	0.0189	0.0002
10	1098500	8906440	0.0027	0.0216	0.0002
11	1153425	10059864	0.0028	0.0244	0.0003
12	1211096	11270960	0.0029	0.0273	0.0003
13	1271651	12542611	0.0031	0.0304	0.0004
14	1335233	13877844	0.0032	0.0337	0.0005
15	1401995	15279839	0.0034	0.0371	0.0006

Posteriormente, se muestran los resultados obtenidos de la verificación para deformación y ahuellamiento, como se observa en la Figura 3, la estructura tiene una deformación

permanente total mejor que 16.5 mm (0.65 in) para todos el periodo, siendo este el criterio límite de falla. Por lo tanto, cumple por ahuellamiento. Se puede visualizar que la línea de deformación total no interseca con el criterio límite de falla (línea punteada de color rojo).

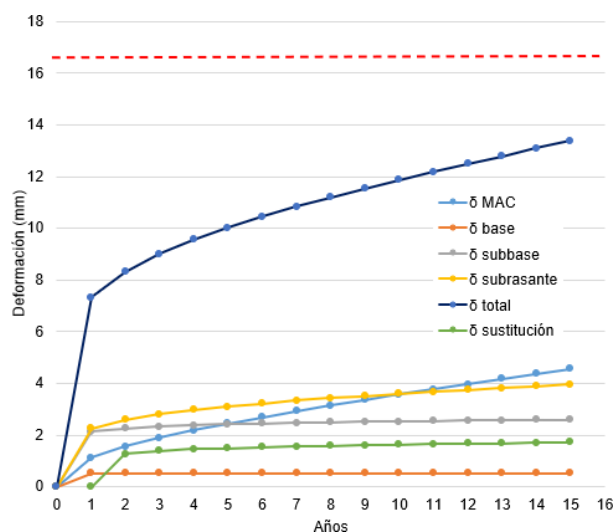


Fig. 3 Deformación permanente en la estructura de la iteración 2.

Con la estructura iterada se procede a realizar presupuesto de la construcción de la estructura, teniendo esta un valor de ¢ 295,218,112.46 (Tabla X), se evidencia un rebajo de ¢39,381,982.00 en el monto final con respecto al monto de la estructura para la iteración 1.

TABLA X
PRESUPUESTO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO - ITERACIÓN 2.

Elemento	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (m)	Total	Unidad	Precio Unitario (¢)	Precio Total (¢)
Excavación	800	5	4000	0.98	3920	m³	6,279.57
Asfalto	800	5	4000	0.12	1152	Ton	95,883.12
Base Estabilizada	800	5	4000	0.16	832	m³	8,396.04
Sub-Base	800	5	4000	0.40	2080	m³	43,728.82
Sub-rasante (Sustitución)	800	5	4000	0.30	1560	m³	43,059.50
Total	-	-	-	-	-	-	295,218,112.46

IV. ANÁLISIS

La primera alternativa analizada es la configuración mostrada en la Tabla I, dónde se aumentó en 2 cm la carpeta asfáltica en relación con el modelo anterior, además, para la iteración 2 realizó incluyó una capa de base estabilizada y se sustituyó parte del suelo existente con el fin de aumentar la capacidad estructural. Para el modelado de ambas estructuras en el software Pitrapave, se utiliza medio eje dual de 4500 lb por cada llanta, para un total de 900 lb en la mitad del eje simple dual.

Se realiza el cálculo del daño utilizando la ecuación propuesta por Miner con su respectivo error estándar asociado (Se), que se utiliza para corregir el porcentaje de agrietamiento calculado. Se utilizan las ecuaciones considerando el 75% de

confiabilidad. En la Tabla VIII se puede visualizar el aumento de daño en el tiempo, así como el porcentaje de área agrieta para cada año hasta el año último año en análisis, sin embargo, no supera el criterio de límite de falla de 35%. Así mismo en la Tabla IX, se puede visualizar que el valor de grietas longitudinales por milla para cada año no excede el límite de 2000 ft/milla, cumpliendo por grietas longitudinales para el todo el periodo analizado.

De la Figura 3 se puede observar que la estructura tiene una deformación permanente total menor que 16.5 mm (0.65 in), para todos los años. Por lo tanto, se cumple por ahuellamiento, ya que no interseca con el criterio límite de falla, siendo este la línea punteada de color rojo en la figura mencionada.

Una vez verificados los cumplimientos de criterios de falla para cada iteración, se estima el presupuesto de la construcción, donde se evidencia que la carpeta asfáltica es la capa de mayor costo en cada caso. Sin embargo, para la iteración 1 se estima un total \$334,600,094.50 para la construcción y para la iteración 2 se estimada un valor de \$295,218,112.46, se evidencia un rebajo considerable de \$39,381,982.00 en el monto final con respecto al monto de la estructura para la iteración 1. Además se evidencia un aumento en la capacidad estructural del pavimento al incluir una base estabilizada con cemento y una sustitución del suelo existente por un material más competente.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En conclusión, se logró establecer un diseño preliminar con la metodología AASHTO-93, mismo que luego fue evaluado por medio del método mecánico empírico, tomando en consideración las condiciones climáticas del sitio, la configuración de los materiales, así como las características del tráfico de la zona resultando en un diseño base que fue analizado e iterado hasta lograr optimizar al punto de generar un balance entre su capacidad estructural y valor económico.

Con los resultados obtenidos de la zona, los materiales y el tráfico se procedió con el diseño de la estructura base. Una vez definidos los espesores preliminares con la metodología AASHTO, se modeló y evaluó la respuesta estructural del diseño base por medio del software de multicapa elástica Pitrapave, donde se obtuvo como resultado las deformaciones plásticas, deflexiones y esfuerzos para diez posiciones diferentes a lo largo del eje longitudinal (sentido del tráfico). Además, cada una de las posiciones se evaluó para múltiples profundidades según el requerimiento de cada capa, evaluando un aproximado de 70 para el diseño base y la iteración 1, sin embargo para la iteración 2 se utilizó un total de 90 puntos para el análisis, determinando los valores máximos a utilizar en las ecuaciones de transferencia para el análisis mecánico.

Con el fin de estimar el cumplimiento de la estructura a lo largo del periodo requerido, en este caso de 15 años según el tipo de carretera, se utilizó las ecuaciones de transferencia mecánicas para evaluar el porcentaje de agrietamiento en el carril por fatiga, así como el agrietamiento longitudinal, además del ahuellamiento, considerando la deformación permanente para cada capa, siempre tomando en

consideración para cada análisis los criterios de falla establecidos en la guía mecánica empírica propuesta.

Así mismo, debido a que el primer diseño propuesto no cumplió en ninguna de las verificaciones, se realizó dos iteraciones más, siendo la iteración 1 la que cumplía en cada verificación, sin embargo, se realizó una segunda iteración, con la que se logró optimizar el diseño, ya que se incrementó la capacidad estructural y se redujo el costo de construcción. Lo anterior debido a que se redujo el espesor de la carpeta asfáltica, se cambió la base granular por una base estabilizada con cemento y se sustituyó 30 centímetros de la subrasante aumento la capacidad de la subrasante. Por lo tanto, la estructura propuesta en la iteración 2 es la ideal para ejecutar el proyecto de mejoramiento de la calle Platanares, con el fin de establecer una conexión duradera entre la Ruta Nacional 216 y la Ruta Nacional 307.

En el caso de que se proponga recrear el presente proyecto con la base de datos contenida, se recomienda realizar varias extracciones del suelo y ensayos en sitio a lo largo del tramo según la longitud de análisis, debido a que en el presente proyecto se extrajo la muestra y se realizó el ensayo DCP en el punto del tramo que se encontraba accesible debido a las condiciones del sitio.

Se recomienda contar con un conteo vehicular de 24 actualizados que permita realizar el cálculo del tránsito promedio diario, ya que para este proyecto se utilizó el conteo vehicular más actualizado que el del Ministerio de Obras Públicas y Transportes, siendo el dato de la estación más cercana a zona del año 2018, por lo que se realizó el cálculo con el fin de extrapolar el dato al año 2024.

Así mismo se recomienda encontrar un software libre de elemento finito que pueda calcular el efecto cortante modelando la parte viscoelástica de la estructura para determinar la deformación a tensión en las fibras superiores de la capa asfáltica, con el fin de evaluar agrietamiento de arriba hacia abajo y poder verificar el agrietamiento longitudinal, ya que para el presente trabajo se consideró bajo supuesto de que la deformación a tensión en la fibra inferior de la capa asfáltica es la misma que en las fibra superior.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Se agradece a la Municipalidad de Vásquez de Coronado por el apoyo en desarrollo de este estudio de implementación de la metodología de diseño ME.

REFERENCES

- [1] A. Ulloa, G. Badilla, J. Allen, D. Sibaja, "Encuesta de carga en pavimentos de Costa Rica" aestructura Vial. Congreso Ibero Latinoamericano del Asfalto, CILA, November 2007.
- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Guide for Design of Pavement Structures 1993, 1st ed. Washington, DC, USA: AASHTO, 1993.

- [3] J. Hernández, M. Fabela, “Diseño y construcción de un prototipo para determinar el peso de vehículos ligeros en movimiento”, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Instituto Mexicano del Transporte, 2004.
- [4] R. Baus, N. Stires, “Mechanistic-empirical pavement design guide implementation”, Federal Highway Administration, FHWA/SCDOT Report No. FHWA-SC-10-01, 2010.
- [5] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), “Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice”, 3rd ed. Washington, DC, USA: AASHTO, 2020.
- [6] Ministerio de Obras Públicas y Transportes (MOPT), “Anuario de información de Tránsito 2023”, San José, Costa Rica: MOPT, 2024.
- [7] “Sistema Integrado de Compras Públicas (SICOP),” <http://https://www.sicop.go.cr/> (accessed Nov. 3, 2024).
- [8] QGIS. (2024). QGIS Open Source Project. Available: <https://qgis.org/>
- [9] F. Rojas, J.P. Aguiar, L.G. Loría, Pitrapave v1.0.0. Software de multicapa elástica para análisis de pavimentos flexibles (2015). Available: https://www.lanamme.ucr.ac.cr/images/pitra/ump/apps/PITRA_PAVE-1.0.zip