



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**Comparativo de diseño de pavimento de la AV. Los Diamantes
mediante los métodos AASHTO vs U-TCP para el tramo 0+000
hasta 0+800, distrito de Piura 2022**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTORES:

Pacheco Vasquez, Lucia Damaris (orcid.org/0000-0002-5692-8217)

Pozo Feria, Jose Luis (orcid.org/0000-0002-5091-2126)

ASESOR:

Mtro. Galan Fiestas, José Edwin (orcid.org/0009-0005-9867-3637)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Innovación tecnológica y desarrollo sostenible

PIURA - PERÚ

2023

DEDICATORIA

A mis padres, por haber formado el ser humano que soy hoy en día, y porque a pesar de ya no solo ser hija, sino también madre, sigo aprendiendo de ellos, todos los días.

A mis hijos, Luciana (10) y Valentino (4), porque han sido el motivo principal por el cual decidí abordar este camino, para afianzar mis conocimientos y poder ampliar el ámbito de mi desarrollo profesional, complementando mi carrera de ingeniera agrícola.

Lucia Dámaris P. V.

A mis madres Berta y Gladys por siempre ser ese motor que me impulsa a seguir adelante y por todo el amor brindado hacia mí, a mis padres Fernando, Tomas y Jose por siempre guiarme por el camino recto y creer en que podía alcanzar esta meta en mi vida, gracias infinitas y todo el amor para ustedes.

Jose P. F.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, principalmente, porque es quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante en cada momento que he pensado en rendirme; a mi familia por su comprensión y apoyo incondicional a lo largo del desarrollo de este reto profesional, a mi Universidad Cesar Vallejo por haberme permitido formarme en ella; y a todas las personas que de una u otra manera han sido partícipes de este proceso.

Lucia Dámaris P. V.

Agradecer a Dios por permitirme cada día levantarme y seguir en busca de mi sueño y mis metas personales y profesionales.

A mi familia por brindarme todo su apoyo y esfuerzo para lograr este objetivo. Tercero a mi alma mater F.I.C.A. - UCV por brindarme durante estos hermosos y caóticos años el conocimiento necesario para mi formación profesional.

Jose P. F.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	ii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
I. INTRODUCCIÓN.....	7
II. MARCO TEÓRICO	10
III. METODOLOGÍA.....	22
3.1. Tipo y Diseño de Investigación	22
3.2. Variables de Operacionalización.....	22
3.3. Población, muestra, unidad de análisis	23
3.4. Técnicas, instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad ..	23
3.5. Procesamiento	24
3.6. Método de análisis de datos.....	24
3.7. Aspectos Éticos.....	24
IV. RESULTADOS.....	25
4.1. Ubicación geográfica del proyecto.....	25
4.2. Diseño de mezcla	28
4.3. Pruebas de resistencia del concreto	29
4.5. Diseño de pavimento rígido - AASHTO	30
4.6. Diseño pavimento en TCP en software Optipave 2.0.2.....	39
V. DISCUSIÓN.....	25
VI. CONCLUSIONES.....	25
VII. RECOMENDACIONES.....	25
REFERENCIAS	51
ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Relación de los suelos según proporción de sus partículas	15
Tabla 02: Factor de corrección para L.L.....	16
Tabla 03: Estimados de precisión	17
Tabla 04: Contenido de humedad A. Fino.....	26
Tabla 05: Para el agregado fino	26
Tabla 06: Cantidad de humedad en el A. grueso	27
Tabla 07: Para Ag. grueso	27
Tabla 08: Ensayo de compresión del concreto	29
Tabla 09: Comparación de esfuerzos máximos	30
Tabla 10: Índice de serviciabilidad	31
Tabla 11: Valores óptimos de (R) y (Zr) para un diseño de 20 años.....	32
Tabla 12 Resultado de "Cd" según norma	33
Tabla 13: ESAL - resistencias requeridas	33
Tabla 14: Cálculo del ESAL	34
Tabla 15: Porcentajes del C.B.R en sub rasante.	35
Tabla 16: CBR para la sub base	36
Tabla 17: Cálculo del pavimento rígido metodología AASHTO.....	37
Tabla 18: Costo de pavimento rígido metodología AASHTO	44
Tabla 19: Costo de pavimento rígido diseñado U-TCP	45
Tabla 20: Comparacion de resultados.....	46

RESUMEN

El proyecto apunta hacia una problemática actual que se observa en los pavimentos rígidos, problemas tales como asentamientos, agrietamientos, etc. que van quitando la viabilidad óptima del pavimento; es por ello que el Distrito de Piura no es indiferente a este problema ya que en muchas de sus calles presentan un pavimento en mal estado ya sea por falta de mantenimiento preventivo o correctivo, un mal proceso constructivo o condiciones climáticas extremas de la zona. Tal es así que la hipótesis planteada para este proyecto es, qué método sería el adecuado utilizar entre un pavimento rígido tradicional y un pavimento con método de U-TCP para la Av. Los Diamantes de la Ciudad de Piura en el tramo 0+000 (intersección de av. Chulucanas y Av. Los diamantes) hasta la progresiva 0+800 (esquina de la ex textil), considerando las condiciones locales.

La presente investigación conllevará a estudios necesarios para recopilar información del tramo en mención, como es estudios de tráfico, estudio de mecánica de suelos, utilización de software para los análisis correspondientes, los cuales nos brindarán los parámetros necesarios para el diseño óptimo del pavimento. Se utilizó una metodología no experimental con un enfoque cuantitativo, los cuales nos permitirán tomar los criterios necesarios para el presente trabajo.

Los resultados obtenidos en la investigación nos indican que el diseño de pavimento rígido mediante el método U-TCP es más viable tanto en tiempo como en costos ante un diseño tradicional (AASHTO) y una importante reducción de la losa en el proceso constructivo.

Palabras clave: pavimento rígido, método U-TCP, diseño de pavimento.

ABSTRACT

The project points to a current problem that is observed in rigid pavements, problems such as settlements, cracks, etc. that are taking away the optimal viability of the pavement; That is why the District of Piura is not indifferent to this problem, since many of its streets have pavement in poor condition, either due to lack of preventive or corrective maintenance, a poor construction process, or extreme weather conditions in the area. So much so that the hypothesis proposed for this project is, which method would be appropriate to use between a traditional rigid pavement and a pavement with the U-TCP method for Av. Los Diamantes in the City of Piura in section 0+000 (intersection of Chulucanas Ave. and Los Diamantes Ave.) to the 0+800 station (corner of the former textile factory), considering local conditions.

The present investigation will lead to the necessary studies to collect information on the section in question, such as traffic studies, soil mechanics study, use of software for the corresponding analysis, which will provide us with the necessary parameters for the optimal design of the pavement. A non-experimental methodology was used with a quantitative approach, which will allow us to take the necessary criteria for the present work.

The results obtained in the investigation indicate that the rigid pavement design using the U-TCP method is more viable both in time and in costs compared to a traditional design (AASHTO) and a significant reduction of the slab in the construction process.

Keywords: rigid pavement, U-TCP method, pavement design.

I. INTRODUCCIÓN

La participación en el ámbito global de la construcción ayuda al progreso económico del mundo y que hacen posible concretar proyectos familiares, de empresas y de la sociedad; al igual que todo lo anterior los caminos y carreteras comprenden una de las redes de conectividad más eficientes y grandes del mundo, porque estos ayudan el traslado de bienes de un punto a otro, por lo que su conservación y buena calidad redundan en la mejora y desarrollo económico de una región.

En nuestro país, la mayor cantidad de zonas urbanas cuentan con vías debidamente pavimentadas, pero, según el MTC indica que en la ciudad de Lima casi el 80% de vías se encuentran afectadas severamente y esto no es ajeno a otras regiones.

En el caso de nuestra ciudad la situación de las vías existentes es verdaderamente alarmante, ya que según el Índice de Competitividad Regional (INCORE, 2019), del 20.7% de vías que se encuentran asfaltadas ya se parcial o totalmente, el 60% de estas se encuentra en mal estado o tiene daño severo.

Es así, como en base a estas estadísticas se puede observar como ejemplo la av. Los diamantes, la cual es una vía principal que conecta muchos AA.H.H. de nuestra ciudad y ayuda a mejorar el flujo del tránsito que se genera en horas punta.

La zona de estudio elegida, presenta un severo daño focalizado en aproximadamente los 800 primeros metros, teniendo como inicio la intersección entre av. Chulucanas y av. los Diamantes hasta el final de la zona textil, generando así dificultad en las maniobras de los conductores, daños a los vehículos, tránsito lento, etc.; el cual continuará incrementándose hasta culminar con la destrucción total del pavimento, generando así la pérdida total de la inversión hecha en la zona y afectando el bienestar de las vivencia de los usuarios.

Es por eso que el presente trabajo propone dar la mejor propuesta de diseño de pavimento rígido para esta zona afectada, dando una comparativa entre el método AASHTO y el método U-TCP.

Es por esto que viendo la realidad problemática presentada se formula la siguiente pregunta general ¿Cuál será el óptimo diseño obtenido entre la metodología AASHTO y el U-TCP para la av. los Diamantes, distrito de Piura, 2023?

Asimismo, nuestro problema general se puede abordar mediante preguntas específicas, tales como: ¿Cuál será la diferencia de resistencia del pavimento rígido entre la metodología AASHTO y el U-TCP en la Av. los diamantes, Distrito de Piura, 2023?, ¿Qué efecto tendrá en la reducción del espesor del pavimento rígido entre el método AASHTO y el U-TCP en la av. los diamantes, Distrito de Piura, 2023?, ¿Qué diferencia habrá entre los costos de fabricación del pavimento rígido entre el método AASHTO y el U-TCP en la av. los diamantes, Distrito de Piura, 2023?

La presente investigación se justifica por su importancia tanto técnica como social, ya que hoy en día la Av. Los Diamantes transitan desde vehículos menores (motos, taxis) hasta vehículos pesados (camiones y tráileres), lo que ha provocado problemas de agrietamiento y/o desgaste (piel de cocodrilo), ahuellamiento y baches, los cuales con el tiempo generan un mayor déficit de funcionalidad óptima del pavimento generando malestar e inseguridad en los transeúntes, es por eso que mediante este trabajo se quiere dar a conocer una alternativa de diseño de pavimento rígido que pueda ser utilizado de forma correcta dando un costo – beneficio para la población y el ejecutor, brindando así obras de mejor calidad (mayor vida útil y mejor resistencia), bajo costos (costos de ejecución y mantenimientos relativamente bajos) y bienestar (mejor entorno de vida de los usuarios aledaños).

El proyecto consta de un objetivo general, que es: establecer el óptimo diseño de pavimento rígido obtenido por los métodos AASHTO y U-TCP para la av. Los Diamantes, Distrito de Piura, 2023. Así mismo, plantea los siguientes objetivos específicos: Determinar la diferencia de resistencia de diseño del pavimento rígido entre la metodología AASHTO y el U-TCP en la av. Los diamantes, Distrito de Piura, 2023; Determinar el efecto en la reducción del espesor del pavimento rígido entre el método AASHTO y el método U-TCP en la av. Los diamantes, Distrito de Piura, 2023; Cuantificar la diferencia que habrá en los costos de fabricación del pavimento rígido entre el método AASHTO y el U-TCP en la av. Los diamantes, Distrito de Piura, 2023.

Este proyecto de investigación tiene la siguiente hipótesis general: el diseño obtenido por los métodos AASHTO y U-TCP será el diseño ideal para la av. Los Diamantes, Distrito de Piura, 2023.

Finalmente, las hipótesis específicas serán: La aplicación del diseño obtenido brindará una mejor resistencia para la av. Los diamantes, Distrito de Piura, 2023; La aplicación del diseño obtenido brindara una notoria reducción del espesor de pavimento para la av. Los diamantes, Distrito de Piura, 2023; Debido a la comparativa de los dos métodos de diseño se obtendrá un mejor panorama de costos de fabricación del pavimento para la av. Los diamantes, Distrito de Piura, 2023.

II. MARCO TEÓRICO

En la tesis denominada “Análisis Comparativo De Diseño De Pavimentos Vs Tecnología TCP (Geometría Optimizada) Para La Carrera y Leticia, Del Municipio De Agua de Dios, Cundinamarca”, se concluye que las losas optimizadas muestran económicamente un ahorro significativo con respecto a las obtenidas mediante el método tradicional, cumpliendo al igual con los parametros mínimos y la disminución del espesor de la losa es considerable. (Florez Camacho, Morales Cortes, & Rodriguez Pacheco, 2019).

En la investigación denominada “Comparación Entre dos Metodologías De Diseño Para Pavimento y el Diseño Requerido para el Corredor Mulaló – Loboguerrero”, el autor concluye que, los pavimentos rígidos son más caros que los flexibles; sin embargo, estableciendo las condiciones climáticas locales (lluvia) y el mantenimiento de rutina establecido, los pavimentos flexibles pueden ser más caros debido a las medidas que se deben tomar para mantener la funcionalidad de su estructura (López Chaparro, 2015).

En el trabajo de investigación denominado “Alternativas en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos por el metodo AASTHO 93”, se concluye que, los valores logrados en el proceso AASHTO son de alta confiabilidad ya sea para pavimentos flexibles o rígidos, pero recomienda aumentar la capacidad de la sub rasante mediante un mejoramiento completo lo cual dará un menor espesor para ésta; también indica que las condiciones climáticas de la zona donde se llevará a cabo el diseño influyen mucho en los precios de sostenimiento de la vida útil del pavimento (Espinoza Correa, 2018).

El trabajo denominado “Análisis de sensibilidad de parametros en el diseño de pavimentos rígidos por los metodos de la AASHTO y PCA”, tiene como objetivo principal evaluar ambos metodos teniendo en cuenta la susceptibilidad de los parámetros más destacados en el diseño, con lo cual concluye que dichos parametros juegan un papel importante a la hora del diseño, dando estos una confiabilidad muy alta para la obtención de los espesores de losa en ambos métodos (Cabrera Illescas & Urgiles Parra, 2017).

En la tesis denominada “Análisis Comparativo de estructuras de Pavimento Rígido aplicando métodos de Diseño AASHTO Y PCA en una vía pública, Cajamarca – 2019”, se concluye que realizar el diseño por el método AASHTO brinda un espesor menor con respecto al diseño realizado por el método PCA. Así también en el análisis de los diseños se determinó que los parámetros requeridos para su durabilidad del pavimento en el método AASHTO no cumplía con los mismos. (Minchán Lezcano, 2019).

Los autores del “Estudio de pavimentos de concreto por el método TCP en Quintanillapampa Distrito de Ascensión - Huancavelica– 2013”, concluyen en su trabajo de investigación que, los pavimentos con diseño TCP resultan más óptimos en un 4%, hasta en un 13% del proceso constructivo en comparación con lo tradicional AASHTO en los parámetros de ESAL y CBR presentes en Quintanilla pampa (Capani Paucar & Dueñas Jurado, 2013).

En la tesis denominada “Análisis Comparativo Del Método Aashto 93 Vs. el TCP para pavimentos rígidos en el distrito de Curicaca-Jauja-Junín” los autores concluyen que, al crear las dosificaciones exactas en el proceso TCP se está logrando un resultado económicamente mayor en un 28.26% respecto al pavimento que se diseñaría mediante el método AASTHO. Asimismo el método TCP está cumpliendo con los requerimientos mínimos técnicos que se requiere y a su vez esta representando un ahorro económico ; lo que lleva a los autores a aceptar su hipótesis planteada donde indican que para diseñar pavimentos rígidos, es más conveniente y eficiente utilizar el método TCP antes que el método AASTHO 93 (Mendoza Chuquillanqui & Quispe Serpa, 2021).

La tesis de estudio denominada “Análisis Comparativo Del Diseño De Pavimento Rígido En La Zona El Trópico, Distrito De Huanchaco, Trujillo- La Libertad”, nos indica que, al seguir los parámetros y criterios de diseño según lo indican los métodos AASHTO 93 y TCP, se obtuvieron resultados que muestran que para el AASHTO 93 el paquete del pavimento tendría un diseño en el cual el espesor de la capa de rodadura, es decir la losa, sería $e=0.20\text{m}$ y la capa inferior, es decir sub base, tendría un $e = 0.15\text{m}$; y para el método TCP Pavement, la losa de concreto tiene un $e = 12\text{ cm}$ y subbase $e=15\text{ cm}$, lo que refleja claramente que el diseño

generado por la aplicación del TCP es el más conveniente, sin duda. (Gomez Benites & Rivero Avila, 2021).

En la investigación “Comparación Técnico De Pavimentos Optimizados y Pavimentos Rígidos, de Jaén”, se concluyó que en el comparativo entre el metodo AASHTO y TCP, la disminucion del espesor de losa es aproximadamente un 30% menor, al igual que las tensiones generadas en el metodo TCP son de menor efecto en diferencia a la AASHTO, tambien se concluyó que al ser de menor dimension las losas TCP, las condiciones climaticas se obvian generando un mejor comportamiento en situaciones extremas (Díaz Zamora & Hoyos Fernández, 2019).

En la tesis denominada “Diseño estructural de pavimento rígido por el método AASTHO 93, de la Av. Ramón Castilla, en el distrito de Chulucanas-Morropón-Piura.2019” concluyó que el ensayo de CBR es un factor importante al momento de diseñar un pavimento, los cuales brindan los parámetros mínimos para el mismo (Córdova Farfán & Cruz Pedemonte, 2020).

En la tesis denominada “Análisis comparativo entre el diseño estructural de un pavimento flexible y un pavimento rígido del camino vecinal Yapato-Tajamar-Pampa de loro Distrito de Sechura – Piura”, llegan a la conclusión que al usar el metodo AASHTO obtienen el diseño de pavimento flexible con un menor costo de ejecucion con respecto al pavimento rigido, generando asi una diferencia notable en los costos (Castillo Adrianzen & Castro Maradiegue, 2021).

Pavimento

Es el conjunto de capas de conforma una estructura de diseño de pavimento, la cual comprende sub base, base y rodadura (flexible, semi rígida o rígida) (SNIP, 2015).

Pavimento rígido

Una capa de rodadura es denominado rígido debido a que una de sus características principales de diseño, es mitigar totalmente las fuerzas que se crean por las cargas (de transitabilidad), cuando éste proyecta el esfuerzo a los niveles inferiores de la carpeta de diseño en menor intensidad (rasante y sub rasante), (MTC, 2014).

Metodología de diseño AASHTO

El proceso de creación de la rodadura rígida basado en la AASHTO 93, considera magnitudes típicas, que cambian de acuerdo a factores climáticos, carga vehicular, y el material de diseño.

En el año 2013 El MTC, en su Manual - 2013 indica el uso de la AASHTO 93 para concretar la estructura de los pavimentos (flexibles o rígidos); así como también nos indica que para una nueva infraestructura el pavimento dá un servicio alto, el mismo que con el tiempo y las cargas vehiculares, va disminuyendo.

Para realizar combinación exacta se emplea un proceso repetitivo, que llega a su expresión cuando la ecuación matemática de AASHTO 93 llega a estar equilibrada asumiendo espesores de losa; el espesor de concreto que se obtiene del proceso reiterativo, debe soportar las cargas dinámicas sin que el pavimento llegue a deteriorarse (MTC, 2014).

El procedimiento crea un nivel de servicio final, el cual se mantendrá hasta culminar el diseño.

La ecuación usada en el método AASHTO es:

$$\log_{10} W_{8.2} = Z_R S_O + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 P_1) \times \log_{10} \left[\frac{M_r C_{dt} (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 x j (0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c / K)^{0.25}})} \right]$$

Dónde:

Símbolo	Descripción
$W_{8.2}$	# EEQ de 8.2 Tn.
Z_R	Desviación estándar
S_O	Error estándar
D	Esp. del pavimento (mm)
ΔPSI	Diferencia entre los índices de servicio
M_r	Resistencia del concreto a los 28 días
C_{dt}	Coef. de drenaje
j	Coef. de transmisión de carga en juntas
E_c	Mo. de elasticidad el concreto
K	Mo. de reacción de la superficie

Sub rasante

Estructura debajo de la capa final de rodadura, la cual se comprende ya sea por corte o relleno y está conformada mayormente por afirmado (MTC, 2014).

Base

Capa ubicada debajo de la conformación de rodadura, cuyo objetivo es absorber las mayores cargas y evitar deformaciones debido a la repetición constante de flujo vehicular, esta capa debe contar con un $\text{CBR} \geq 80\%$ y estar conformada por un material granular con altas características drenantes.

Sub base

Conformación inferior a la capa media (base), cuya función es soportar las capas superiores y debe ser de capilaridad controlada (MTC, 2014), el material tiene un $\text{CBR} \geq 40\%$.

Trafico vial

En este punto se considera 2 variables importantes, el diseño estructural y la carga de los tramos viales, ya que estos nos darán el óptimo diseño a considerar para evitar un fallo a lo largo de la vida del pavimento (MT, 2014).

Clima

Según el MTC se consideran dos factores importantes en el diseño, los cuales influyen directamente en su comportamiento (temperatura - lluvia), (MTC, 2014).

American Association of State Highway and Transportation Officials

(Asociación Estadounidense de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transporte)

En el manual AASHTO (2007) podemos encontrar procedimientos para la conformación estructural del pavimento (rígido o flexible), referido a losas de cemento portland), pavimentos flexibles (asfalto) y superficies de agregado para vías poco transitadas.

Pavimento de hormigón delgado (TCP)

Compañía extranjera (chilena) fundadora del proceso TCP, en nuestro país en la actualidad está inscrito en INDECOPI N°5940 (patente de invención).

Ultra Thin Concrete Pavement (U-TCP)

Los pavimentos U-TCP son un tipo de pavimentos TCP. Estos, aparte de componerse de losas más delgadas que las tradicionales, adicionan fibras estructurales a la mezcla de hormigón.

En las vías donde el nivel de compactación del suelo de subrasante es alto debido al tránsito vehicular, paso de camiones y maquinaria pesada, se colocan directamente los pavimentos U-TCP luego de realizar un perfilado, sin ninguna base.

Procedimiento y/o ensayos para identificar propiedades del suelo:

a) Análisis Granulométrico (MTC E 107)

Nos muestra los diferentes tamaños de las partículas de áridos a través del uso de tamices que cumplan con las especificaciones técnicas.

Con esto podremos analizar las propiedades que nos interesan, a un mejor grado de aproximación. El fin del análisis granulométrico es conocer los porcentajes de las partículas que se van quedando en cada tamiz por numeración utilizados durante el proceso, hasta culminar con el tamiz de menor tamaño (N°200 o 74 mm) (MTC, 2016, pág. 44).

Tabla 01: Relación de los suelos según proporción de sus partículas

Material	Tamaño (mm)
Grava	75 – 4.75
Arena:	
Arena Gr.	4.75 – 2.0
Arena Media	2.00 – 0.425
Arena Fina	0.425 – 0.075
Material Fino:	
Limo	0.075 – 0.005
Arcilla	< a 0.005

Fuente: MTC 2014

b) Determinación del Contenido de Humedad del Suelo

Este se puede expresar en porcentaje y viene a ser la interacción (agua – área de suelo). Este ensayo indica la cantidad de agua extraída al secar el suelo (estado húmedo) y obtener un determinado peso mediante el uso o secado por horno regulado a una temperatura 110°C (±5°), el resultado de ese proceso se considera como peso de partícula. La masa de suelo húmedo y el suelo seco y/o partículas sólidas se conoce como contenido de humedad (MTC, 2016, pág. 49).

c) Determinación del Límite Líquido del Suelos

Es el valor (%) de humedad de un suelo al secar esté en el horno controlado, cuando el mismo se encuentra en un estado glutinoso (plástico - líquido). Dicho valor se halla mediante una prueba que consiste en separar en dos mitades una masa de suelo (pastosa) la cual debe lograr unirse en una distancia de 13mm cuando se generan caídas (25 repeticiones) a una altura h=0.01m a intervalos de 2 caídas/seg., (MTC, 2016, pág. 67).

El límite líquido de diferentes muestras se halla utilizando la siguiente expresión matemática:

$$LL = W^n \left(\frac{N}{25}\right)^{0.121} \quad \text{ó, } LL = k \cdot W^n \quad (2)$$

Es decir:

N = N° de golpes que se requieren para unir la ranura

W_n = Contenido de Humedad del suelo

K = Factor (*Tabla 2*)

Tabla 02: Factor de corrección para L.L.

<u>N</u>	<u>K</u>
20	<i>0.974</i>
21	<i>0.979</i>
22	<i>0.985</i>
23	<i>0.990</i>
24	<i>0.995</i>
25	<i>1.000</i>
26	<i>1.005</i>

27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

Fuente: MTC, 2014

d) Determinación del Límite plástico e Índice de Plasticidad

El límite plástico se considera a la humedad mínima (menor del suelo) con la cual se puede realizar pruebas sin que el suelo sufra separación o desmoronamiento, (MTC, 2016, pag.72).

Para encontrar el LP, se calcula de dos contenidos el promedio de humedad, el cual se repite si entre estos dos contenidos existe una diferencia que es superior al rango aceptable indicado.

Tabla 03: Estimados de precisión

Índice de precisión	Desviación estándar	Rango
Presición simple – LP	0,9	2,6
Presición Multilaboratorio – LP	3,7	10,6

Fuente: MTC, 2014 (pag.73).

Siendo el LP de dos determinaciones el promedio de humedad existente, se indica en porcentaje de humedad, obteniendo así una aproximación a 1 entero.

Se obtiene así:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100 \dots \dots \dots (3)$$

e) Proctor Modificado (MTC E 115)

Es un procedimiento de compactación utilizado en un ambiente controlado (laboratorio), el cual nos da la relación cantidad de agua – Peso de un cuerpo por unidad de volumen (también llamada curva de compactación), el cual consta en compactar con un molde ($\phi 4''$ o $6''$) y un pisón de 44.5N (10lbf), el cual cae de una altura (18") produciendo así una fuerza de impacto y compresión de 2700 kN-m/m³ o 6000pie-lbf/pie, (MTC, 2016, pag.105).

f) Ensayo CBR (MTC E 132)

Ensayo cuyo objetivo principal es obtener el valor del soporte máximo que presente el suelo (indicador de relación de resistencia), el proceso es realizado en un ambiente controlado (laboratorio), el cual dará al suelo una condición de humedad y densidad específica. El índice obtenido estará dirigido al 100% de la consistencia máxima seca con un ingreso de peso de 1", (MTC, 2016, pag.248).

Fatiga del concreto

Esta se genera por la continua aplicación de cargas repetitivas, las cuales generan esfuerzos conllevando a la formación de micro fisuras, las cual posteriormente desencadenan la falla. Las causas más recurrentes desencadenantes de la fatiga y posterior falla del concreto son: aplicación de cargas repetitivas, resistencia, espesor de pavimento, equidistancia de juntas transversales, apoyos en bordes, conformación de sub rasante, curado, etc., (Anguas, Gómez y Sesna, 2002).

La prueba de fatiga radica en aplicar a un área determinada una carga dinámica en repetidas ocasiones, a tal punto de que su módulo de elasticidad disminuya o alcance el 50% de su resistencia durante la prueba (Autroads, 2012).

Relación de esfuerzos

Se sabe que las repeticiones aplicadas al concreto en carga y descarga inciden en la falla dependiendo el esfuerzo aplicado, esta comunicación entre el esfuerzo máximo (losa) – módulo de ruptura (concreto) es la conexión de esfuerzos SR, (Rao y Roesler, 2005).

$$SR = \frac{\sigma}{MR} \dots \dots \dots (4)$$

El MR (concreto) viene a ser el esfuerzo de tensión máxima sometida a un área, la cual se comprueba a través de estudios de resistencia a flexión (a los 28 días de la muestra), registrando la carga máxima antes de la ruptura o fallo del elemento.

Método de la PCA

En 1984 se difundió la técnica del modelo de espesores de la PCA para calles y/o carreteras. La teoría de los elementos finitos sirvió para desarrollar el software informático denominado JSLAB cuya función es el cálculo de los esfuerzos y deflexiones críticas, posteriormente se le añadieron criterios para elaborar guías (tablas y/o cartas) que ayuden al diseño. Los parámetros de diseño toman como referencia el modelo general, el trabajo y el estudio de la investigación, añadiendo la respuesta de los pavimentos de acuerdo con la prueba AASTHO con los estudios de falla en el pavimento. Actualmente existen tablas, ábacos y gráficos, software, horas de cálculo que facilitan la solución de los problemas de pavimentos.

Modelos de análisis de fatiga

Para definir la falla por fatiga los modelos mecanicistas aplican la concepción del daño acumulativo presentada por de Miner (Rao & Roesler, 2005), la cual ha servido considerablemente en el diseño y evaluación de pavimentos.

La fatiga del concreto obedece a diferentes indicadores incorporando la posición y magnitud de las cargas que ocasionan los esfuerzos críticos, el criterio de daño acumulativo se aplica para analizar la fatiga, el cual considera que sumando el daño por fatiga provocado por cargas de distinta dimensión asignadas en condiciones variables, pero deduce que la magnitud del daño se amplía linealmente. La ecuación presentada denominada Ley de Miner considerada por la PCA para el desarrollo del cálculo del daño acumulado

$$\text{Daño por fatiga} = \sum \frac{n_i}{N_i} \dots \dots \dots (5)$$

Es decir: $n_i = n^\circ$ de repeticiones de carga aplicada bajo condición i

$N_i = n^\circ$ de repeticiones de carga permisibles hasta la falla por fatiga bajo la condición i

Cuando la falla por fatiga tiene un valor de la unidad los materiales deberían fallar según la Ley de Miner pero la variabilidad del material concreto y las diferentes causas que originan la falla por fatiga, el valor de la rotura puede tener como resultado indicadores diferentes a la unidad.

Método de elementos finitos EverFE 2.25

El software (EverFE 2.25) se centra en utilizar los elementos finitos para analizar las tensiones generadas en las losas de concreto; estos resultados fueron ratificados por medio del método analítico Westergaard 1948.

Geometría, Para desarrollar el modelo geométrico el software presenta una opción CAD, además se le pueden colocar información sobre las capas y determinar el límite de la modelación.

Material, Guarda los valores de rigidez de cada uno de los materiales, coeficiente de incremento térmico del concreto y densidades.

Loading, Guarda los valores de carga, tipo de eje, ancho y lado del contacto del neumático, posición sobre el plano X-Y de las losas y carga por T°,

Dowel, Comprende los valores de rigidez y geometría de las dovelas y barras de amarre asimismo el estado de liga entre las dovelas y el concreto de la losa

Interlock, Guarda abertura en las juntas agregando la alternativa de un modelamiento lineal y no lineal.

Meshing, Calcula los valores de mallado

Solver, Desempeña el análisis de los componentes finitos

Resultados: se obtienen los datos del modelamiento

La secuencia de la evaluación de un problema con EverFE 2.25, son los siguientes: Incorporar la información del dimensionamiento, cantidad de cubiertas, densidades y valores de rigidez, entre otros indicadores propios del material utilizado, peso, dimensiones del área de contacto del neumático, separación entre neumáticos, cargas por temperatura, uniones de amarre con sus características geométricas de rigidez y liga del concreto hidráulico, rigidez y abertura de juntas, determinar la elección del mallado, ejecutar el solucionador y finalmente la obtención de la información del modelo planteado (Davids, 2000).

Funciones de transferencia PCA

Para determinar el número de repeticiones de cargas admitidas según Portland Cement Association (PCA) (<biblio>), se utiliza las ecuaciones (6), (7) y (8).

$$Nf=10^{11.737-12.077\left(\frac{\sigma}{s_c}\right)} \quad \text{para } \frac{\sigma}{s_c} \geq 0.55 \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$Nf=\left(\frac{4.2577}{\frac{\sigma}{s_c}-0.4325}\right)^{3.268} \quad \text{para } 0.45 < \frac{\sigma}{s_c} < 0.55 \quad \dots\dots(7)$$

$$Nf= \text{sin limite para } \frac{\sigma}{s_c} \leq 0.45 \quad \dots\dots\dots(8)$$

De la fórmulas anteriores se describe:

Nf = # de repeticiones de carga

σ = esfuerzo de tensión

Sc = módulo de rotura del concreto

$\frac{\sigma}{s_c}$ = relación de esfuerzos.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y Diseño de Investigación

Tipo de Investigación

Esta tesis fue del tipo aplicada, porque se emplearon conocimientos científicos existentes, métodos como AASHTO y U-TCP para determinar el óptimo diseño del pavimento.

Es Aplicada debido a que se centra en encontrar una solución práctica a un problema identificado (Rodríguez, 2018).

La tesis es nivel cuantitativo descriptiva, porque busca recoger información sobre las propiedades, características y procesos del problema planteado, en el cual se hará uso el instrumento del cuestionario virtual, (Yanez, 2017).

Diseño de Investigación

El diseño realizado es no experimental, el cual aplica netamente la observación y la recolección de datos con el fin de describir y establecer la incidencia de las variables en un determinado periodo, (Mata Solis, 2019).

3.2. Variables de Operacionalización

En las variables contamos con: variable dependiente (Diseño de Pavimento) y la variable independiente (método AASHTO Y METODO U-TCP).

El diseño del pavimento es un conjunto de sucesiones para la obtención de valores o elementos estructurales de una sección vial, teniendo siempre en cuenta las condiciones de su entorno (Sánchez, 2012).

Las metodologías AASHTO y U-TCP, son utilizadas para diseños de pavimentos, empleando parámetros de tráfico vehicular, estudios de suelos, etc., y calcular el espesor del pavimento.

En las dimensiones encontramos: parámetros de tráfico vehicular, parámetros de suelos y estructura de pavimento según AASHTO Y U-TCP.

En los indicadores tenemos: parámetros de tráfico vehicular (IMDa, Ejes equivalentes), parámetros de mecánica de suelos (índice de plasticidad, Granulometría, Limite líquido, contenido de humedad, Proctor, CBR), estructura de pavimento según AASHTO (Espesor de losa, de base granular,

de sub base granular) y estructura de pavimento según U-TCP (espesor, base y sub base).

3.3. Población, muestra, unidad de análisis

Población

Se tomó en cuenta un tramo de la av. Los diamantes, las cuales los vecinos de la zona y transeúntes sienten el malestar por circular por esa vía que se encuentra en mal estado.

Muestra

Se tomó como muestra un tramo de 800 metros de la av. Los diamantes, la cual representa un deterioro significativo en su diseño del pavimento.

En esta investigación se realizará una muestra no probabilística, obteniendo datos reales obtenidos en campo, ya que este estudio pretende dar a conocer las circunstancias reales que contribuyan a la materia de investigación, teniendo como finalidad el diseño óptimo del pavimento.

Unidad de análisis

Está centrado en los objetos principales (muestras) las cuales son las herramientas para realizar el estudio. En esta este trabajo se analizó el diseño del pavimento por dos métodos.

3.4. Técnicas, instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

Técnicas

Se emplearon técnicas de recolección mediante observación y ensayos de laboratorio, según la NTP, MTC y AASHTO, los cuales serán plasmados en tablas y software para un mejor entendimiento.

Instrumentos de recolección de datos

Se realizaron trabajos de campo (levantamientos topográficos), se realizará conteo vehicular (MTC), estudios de mecánica de suelo (permitirán obtención de propiedades del suelo).

Validez

Los instrumentos que se utilizaron para el estudio están estandarizados por las NTP, especificaciones del MTC.

Confiabilidad

Las normativas a utilizar en los diferentes instrumentos se encuentran debidamente respaldadas por el MTC, lo cual brindará resultados altamente confiables y veraces.

3.5. Procesamiento

Se realizará en tres etapas las cuales serán:

- Etapa 1: trabajo de campo (calicatas, conteo vehicular, mecánica de suelo)
- Etapa 2: gabinete (mecánica de suelos y pruebas de concreto)
- Etapa 3: gabinete (aplicación de métodos AASHTO Y U-TCP)

3.6. Método de análisis de datos

Los análisis de datos se obtendrán en base a los objetivos principales y específicos planteados, se harán los estudios pertinentes como tráfico vehicular (conteo) y mecánica de suelos (obtención de propiedades de los materiales).

3.7. Aspectos Éticos

Según la Ley universitaria (2014) – ley N°30220, Ley N°30276 – Ley sobre el Derecho de autor. Se realizaron las actividades de campo y gabinete, para obtener una información confiable y valida, como revisión documentaria, la aplicación de la ética tendrá beneficios sociales, económicos y ambientales si se lleva a cabo su aplicación, permiso previo y autorización.

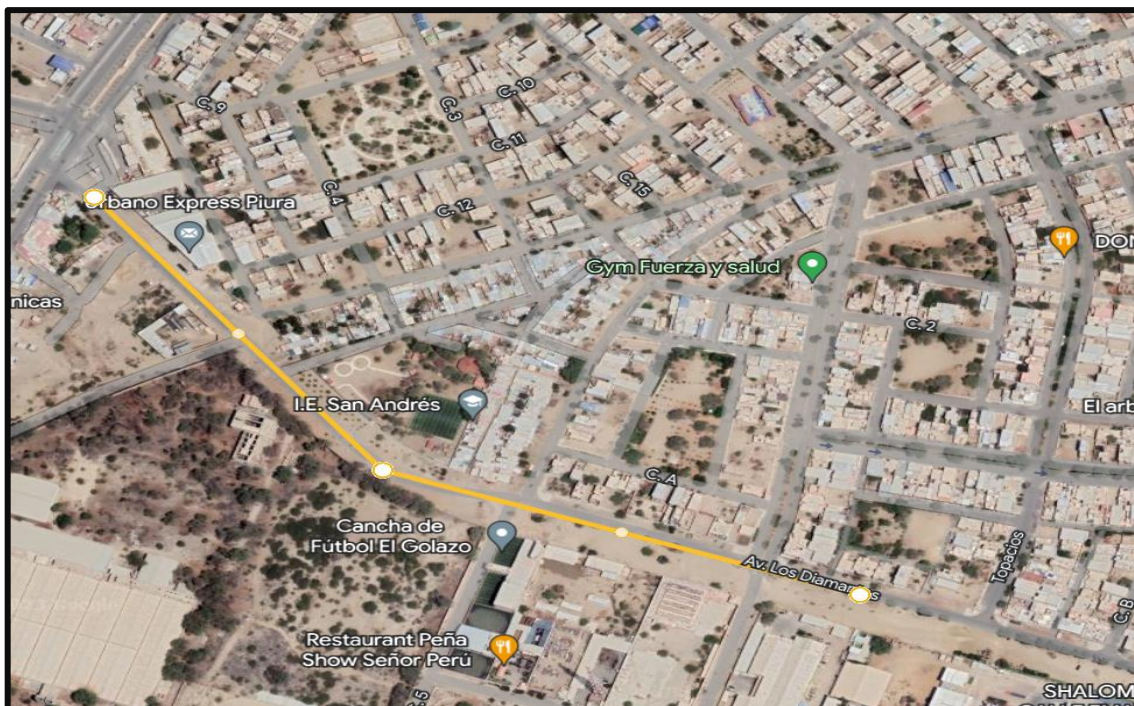
Toda investigación o experimento que se realice con seres humanos debe ceñirse en el respeto, búsqueda del bien y justicia. En cuanto a las personas: respetamos la autonomía, respeto a quienes son capaces de considerar cuidadosamente los pros y los contras de sus decisiones.

IV. RESULTADOS

4.1. Ubicación geográfica del proyecto

La tesis está ubicada en la provincia Piura del departamento de Piura con las coordenadas 05°10'28" de latitud sur y 80°39'38" de longitud oeste, con un nivel de 40 m.s.n.m., esta es una avenida sin pavimentar y tiene una topografía plana con pendientes mínimas.

Figura 1. Ubicación de la Av. Los Diamantes en Piura



Fuente: Google Earth

En referencia a nuestro primer objetivo específico: Determinar la diferencia de resistencia de diseño del pavimento entre el método AASHTO y el U-TCP en la av. Los diamantes; Para lograrlo en el laboratorio se analizaron los tipos de agregados finos y gruesos para obtener los componentes que conforman la estructura de concreto, la cual es la base para formular la cantidad correcta de concreto realizando un diseño específico.

Tabla 04: Contenido de humedad A. Fino

Datos	Uni	Mue 01	Mue 02
P. recipiente	gr	36.86	36.86
P. recipiente + M. H.	gr	536.86	553.60
P. recipiente + M. S.	gr	523.86	540.15
P. Agua	gr	12.00	11.00
P. M. Seca	gr	520.50	533.30
Cont. Humedad	%	2.35	2.26
PROMEDIO	%	2.30	

Fuente: Elaboración propia, 2023

Se aprecia en la tabla N°04 El % de las muestras de árido fino de la cantera de Sojo fue de 2.30% de humedad adicionada, la cual se utilizó para realizar los cambios necesarios por captación de agua y humedad en el árido fino.

Estudio de granulometría

Tabla 05: Para el agregado fino

Tamices ASTM	ABERTUR. m.m	P. RET.	% RET. PARC.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIF TÉCN	ESPECIF TÉCN
3/4"	19.00				100.0		
1/2"	12.7	0.0	0.0	0.0	100.0		
3/8"	9.52	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 4	4.76	20.0	3.3	3.3	96.7	95	100
Nº 8	2.38	89.3	14.6	17.9	82.1	80	100
Nº 16	1.19	117.0	19.2	37.1	62.9	50	85
Nº 30	0.59	143.0	23.4	60.5	39.5	25	60
Nº 50	0.3	116.3	19.1	79.6	20.4	10	30
Nº 100	0.15	76.2	12.5	92.1	7.9	2	10
Nº200	0.074	30.2	5.0	97.0	3.0	0	5
	Fondo	18.0	2.	100.0	0.0		
	PESO INIC	610.0					
MODULO DE FINESA	2.91						

Fuente: Elaboración propia, 2023

Se aprecia en la Tabla N° 05, la granulometría de la arena gruesa que es un material obtenido de la cantera Sojo, cumple con los porcentajes en la NTP 400.012 con un índice que pasa la malla numero 200 inferior al 3% y un factor de finura en las normas de preparación del concreto que se utilizara tanto en la metodología AASHTO y el método U-TCP.

Tabla 06: Cantidad de humedad en el A. grueso

Datos	Uni	Mue 01	Mue 02
P. de recipiente	gr	37.17	37.17
P. recipiente + M. Húmeda	gr	3235.60	3135.40
P. de recipiente + Muestra Seca	gr	3229.10	3129.10
P. de Agua	gr	6.50	6.30
P. M. Seca	gr	3191.93	3091.93
Cont. de Humedad	%	0.32	0.34
PROMEDIO	%	0.33	

Fuente: Elaboración propia, 2023

En la Tabla N° 06, se muestra la cantidad de humedad que contienen la muestra 1 y 2, los cuales tienen un tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ " de Ag. grueso extraído de la cantera Sojo; además tienen un 0,33% de humedad, esta información se utilizó para modificar la cantidad de humedad en las muestras que tiene el agregado grueso como también la absorción.

Análisis Granulométrico

Tabla 07: Para Ag. grueso

Tamiz	TAMAÑO m.m	P. RET.	% RET. PARCIAL	% RET. ACUM.	% QUE PASA	HUSO "67"	HUSO "67"
3"	76.2						
2 1/2"	63.5						
2"	50.8				100.0		
1 1/2"	38.1	0	0.0	0.0	100.0	100	100
1"	25.4	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/4"	19.05	200	1.3	1.3	98.7	90	100
1/2"	12.7	4500	29.8	31.2	68.8	55	77.5

Tamiz	TAMAÑO m.m	P. RET.	% RET. PARCIAL	% RET. ACUM.	% QUE PASA	HUSO "67"	HUSO "67"
3/8"	9.52	5055	33.5	64.7	35.3	20	55
Nº 4	4.76	4824	32.0	96.7	3.3	0	10
Nº 8	2.38	0	0.0	96.7	3.3	0	5
Fondo	1.19	500	3.3	100.0	0.0		
PESO INIC.		15079					

MODULO DE FINESA: 6.58

En la tabla N°07, se detallan los resultados del estudio granulométrico del agregado grueso del tamaño máximo nominal de ¾", de la cantera Sojo, está dentro de lo normado.

4.2. Diseño de mezcla

Para obtener el resultado de la resistencia, inicialmente diseñamos la relación de mezcla especificada, según la información del laboratorio, la a/c fue de 0,45 cuando la probeta se curó durante 7, 14 y 28 días, lo que corresponde un concreto de 280 kg/cm² durante 28 días, el diseño cumplió con el requerimiento de resistencia.

• Parámetros para diseño de concreto

- Resistencia proyectada : 250 kg/cm²
- Cemento : Tipo 1
- Resistencia : 210 kg/cm²
- consistencia : Seca
- T.M.N. : ¾"
- Asentamiento : 3"- 4"

Según el diseño de mezclas de concreto en laboratorio:

- Cemento : 440 kg
- Agua : 198 lt
- Ag. fino : 758 kg
- Ag. grueso : 914 kg

Total : 2309 Kg

4.3. Pruebas de resistencia del concreto

Se realizaron la rotura de 6 muestras en el laboratorio obteniendo los siguientes resultados

Tabla 08: Ensayo de compresión del concreto

N°	FECHA DVACIADO	FECHA	EDAD	DIÁM.	SECC	CARGA DE LECT.	CARGA LECT	F ^c OBTENIDA	F ^c DISEÑO	PROMEDIO
			(Días)	(cm)	(cm ²)	(KN)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)
01	10/04/2023	17/04/2023	07	10.0	78.54	130.30	13,287	179.2	210	180.50
02	10/04/2023	17/04/2023	07	10.0	78.54	132.30	13,491	181.8	210	
03	10/04/2023	24/04/2023	14	10.0	78.54	142.30	14,510	200.8	210	200.10
04	10/04/2023	24/04/2023	14	10.0	78.54	143.60	14,643	199.4	210	
05	10/04/2023	7/05/2023	28	10.0	78.54	170.30	17,365	279.2	210	280.55
06	10/04/2023	7/05/2023	28	10.0	78.54	170.80	17,416	281.9	210	

Fuente: Elaboración propia, 2023

Referente a la tabla anterior, los resultados obtenidos de las pruebas de compresión realizadas en seis especímenes hechos de concreto simple o estándar; se alcanzó una resistencia mayor a 250 kg/cm², lo cual estuvo de acuerdo con los requerimientos de diseño, en promedio los días 7, 14 y 28. La resistencia fue de 180,50 kg/cm², 200,10 kg/cm² y 280,55 kg/cm², cm² respectivamente y cabe señalar que a los 28 días se logró la resistencia para el diseño de la superficie de la carretera.

Comprobando en formula el módulo de rotura mínima para una resistencia a la compresión de **210 kg/cm²** utilizado en el método U-TCP

$$S_c = a\sqrt{f'c'} \text{ (en Kg/cm}^2\text{)}$$

Los valores de "a" entre 1.99 y 3.18

$$S_c = 3.18 \sqrt{210 \text{ kg/cm}^2}$$

Mr = 46.00 kg/cm² = 4.5 MPa

4.4. Esfuerzos máximos con AASHTO93 y el Método PCA

En la tabla N° 06 se muestra la comparación de esfuerzos que tienen los dos métodos

Tabla 09: Comparación de esfuerzos máximos

Carga en losa	Esfuerzo	E. F. 3D EverFE 2.24	
		AASHTO93	U-TCP
EN EL CENTRO	σ_1 (Mpa)	0.276	0.546
EN ESQUINA	σ_E (Mpa)	2.95	2.76
EN EL BORDE	σ_B (Mpa)	0.768	1.62
MAX	σ_M (Mpa)	2.95	1.76

Los esfuerzos máximos obtenidos en el cálculo anterior y el módulo de ruptura del concreto de 4.50 MPa,

Según el segundo objetivo que es determinar el efecto en la reducción del espesor del pavimento entre el método AASHTO y el método U-TCP en la av. Los diamantes, Distrito de Piura, 2023; para obtener los resultados se procedió al diseño del pavimento con los dos métodos con el fin de comparar el espesor final de diseño del pavimento rígido.

4.5. Diseño de pavimento rígido - AASHTO

Con la aplicación de la fórmula de AASHTO 93 se desarrollaron los cálculos:

$$\log_{10} W_{8.2} = Z_R S_o + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5}\right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}}$$
$$+ (4.22 - 0.32P_1) \log_{10} \left[\frac{M_r C_{dt} (0.09D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \chi_j (0.09D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c/K)^{0.25}})} \right]$$

Fuente: Formula de AASHTO 93

Descripción:

Símbolo	Descripción
$W_{8.2}$	# EEQ de 8.2 Tn.
Z_R	Desviación estándar
S_O	Error estándar
D	Esp. del pavimento (mm)
ΔPSI	Diferencia entre los índices de servicio
M_r	Resistencia del concreto a los 28 días
C_{dt}	Coef. de drenaje
j	Coef. de transmisión de carga en juntas
E_c	Mo. de elasticidad el concreto
K	Mo. de reacción de la superficie

FACTORES DE DISEÑO

➤ Esal o ejes equivalentes

Del volumen de autos estudiado se dio a conocer el tipo de carretera por la carga vehicular es tipo Tp2 con un ESAL:

$$ESAL=W_{8.2}= 410,656.0$$

➤ Serviciabilidad de un pavimento

De acuerdo a la CE10 de pavimentos urbanos recomienda:

$$P_o = 4.5$$

➤ Serviciabilidad Final (pt)

Es el número de servicio de confort del cliente, y se considera así:

Tabla 10: Índice de serviciabilidad

PT	Tipo de Vía
3.00	Expresas
2.50	Arteriales
2.25	Colectoras
2.00	Locales y estacionamientos

Fuente: RNE - CE.010

$$Pt = 2.25$$

➤ **Nivel De Confiabilidad (%R)**

De acuerdo a la carga de ejes equivalentes un EE $W_{18} = 410,587.68$ pertenece a un T_{P2} con un $R = 75\%$; según tabla N.º 9.

$$R = 75 \%$$

➤ **desviación Estándar Normal (Zr)**

se asignará:

$$Z_r = - 0.674$$

Tabla 11: Valores óptimos de (R) y (Zr) para un diseño de 20 años

TIPO DE TRAFICO	RANGO DE TRAFICO		
TP0	100 000	150 000	FALSO
TP1	150 001	300 000	FALSO
TP2	300 001	500 000	FALSO
TP3	500 001	750 000	FALSO
TP4	750 001	1 000 000	VERDADERO
TP5	1 000 001	1 500 000	FALSO
TP6	1 500 001	3 000 000	FALSO
TP7	3 000 001	5 000 000	FALSO
TP8	5 000 001	7 500 000	FALSO
TP9	7 500 001	10 000 000	FALSO
TP10	10 000 001	12 500 000	FALSO
TP13	20 000 001	25 000 000	FALSO

Fuente: Manual de Carreteras en sección de Suelos y Pavimentos (Pág.229).

➤ **Error estándar combinada (So)**

La metodología AASHTO 93 sugiere un “So” = 0.30 – 0.40, pero utilizaremos lo que menciona el “manual de Carreteras en la (Pág.228), el cual sugiere:

$$So = 0.40$$

➤ **Factor de Drenaje (Cd)**

Como el área de estudios consta de suelos arenosos, según sus características y la humedad promedio era anteriormente es de (H = 12.09 %)

Tabla 12 Resultado de "Cd" según norma

Cd	Tiempo transcurrido	% de tiempo del pavimento			
		Menor al 1%	1 – 5%	5 – 25%	Más de 25%
Excelente	2 horas	1.25 – 1.20	1.00 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
Bueno	1 día	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
Regular	1 semana	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90

Fuente: RNE - CE.010, Pág. 34

Tabla 13: ESAL - resistencias requeridas.

Rangos según EE	Resistencia mínima flexo tracción (MR)	Resistencia mínima de compresión (F'c)
≤ 5'000,000 EE	40 kg/ cm ²	280 kg/ cm ²
≤ 5'000,000 EE	42 kg/ cm ²	300 kg/ cm ²
≤ 15'000,000 EE	45 kg/ cm ²	350 kg/ cm ²

Fuente: Manual de Carreteras: S y P (Pág.231)

Aplicando:

$$S_c = a\sqrt{f'c'} \text{ (en Kg/cm}^2\text{)}$$

El factor a tiene valores entre 1.99 y 3.18

$$S_c = 3.18 \sqrt{280 \text{ kg/cm}^2}$$

S'c = Mr = 53.21 kg/cm²

➤ **Módulo de Rotura (S'c)**

Para caminos con menos tráfico, es preferible utilizar un $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$, ante lo recomendado por el MTC para el dato de un eje equivalente menor a 5.000.000 EE, según el proyecto, que logramos después de 28 días, la resistencia alcanzada es de $280,55 \text{ kg/cm}^2$, de acuerdo con la normatividad vigente, con el fin de dar un panorama favorable de los costos de construcción, reportamos la resistencia a la tracción promedio de veintiocho días.

➤ **Modulo Elástico del concreto (Ec)**

$$EC = 57,000x (f'c)^{0.5}$$

Convertimos el $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ a 3893 PSI

$$Ec = 3,556,452,8678 \text{ PSI}$$

Convertimos el Ec a Mega pascal:

$$Ec = 24,520.87 \text{ Mpa}$$

$$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$$

- $Ec = 24,520$ Megapasacal
- $S'c = 5.21$ Mega pascal

Tabla 14: Cálculo del ESAL

Pavimento rígido		
Tasa anual de crecimiento – Vehículos pesados	r:	3.93%
Tiempo de vida útil de pavimento (años)	n:	20
Factor Fca vehículos pesados $Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$	Fca	29.56

N° de calzadas, sentidos y carriles por sentido		1 calzada, 2 sentidos, 1 carril por sentido
Factor direccional * Factor carril (Fd*Fc)	Fd*Fc	0.50
Números de ejes equivalentes (ESAL) #EE=365*(∑f.IMDa)*Fd*Fc*Fca	ESAL	410656

Fuente: Elaboración Propia

Características del suelo: En este artículo se obtendrán los del suelo utilizado para la superficie rígida. Se realizó la excavación de 04 puntos en diferentes tramos de la avenida, se planteó excavar una profundidad de 1,50 m en cada punto.

Tabla 15: Porcentajes del C.B.R en sub rasante.

N°	C.B. R	Und	CA-1	CA-2
1	MSD 100%	gr/cm3	1.66	1.67
2	MDS al 95%	gr/cm3	1.58	1.59
3	OCH	%	11.53	12.65
4	AI 100 %	%	24.28	15.90
5	AI al 95 %	%	14.85	15.32

Fuente: Elaboración Propia 2023

De la tabla 12 se obtuvo un C.B.R al 95% un C.B.R de la muestra y un 14.85 % en la calicata 1 y en la calicata 2 un C.B.R UN 15.32 % como promedio resulta un CBR 15%, clasificando como un buena sub rasante tipo S3.

Tabla 16: CBR para la sub base

N°	CBR	Und	MU
1	Max. Den. Seca al 100%	gr/cm3	2.42
2	Max. Den. Seca al 95%	gr/cm3	2.14
3	Opt. Cont. de Humedad	%	7.6
4	CBR al 100 %	%	85.26
5	CBR al 95 %	%	45.18

Fuente: *Elaboración Propia 2023*

Lo que muestra la tabla 13; corresponde a un 95% CBR = 45.18 %, esta cantidad se encuentra según las normas dentro de la clasificación de suelos de buena calidad y resistencia.

Resumen de los parámetros para formula:

- EE (W18) = 410,656
- (R) = 75%
- σ estándar normal = -0.674
- σ estándar general = 0.40
- Mo. de reacción de la subrasante – K (PSI) = 14200.08
- Servic. inicial (pi) = 4.50
- Servic. final (pt) = 2.00
- Transferencia de Carga (J) = 2.8
- Coef. de drenaje (Cd) = 1.00
- T_D = 20 años.

Coeficiente de reacción combinado (Mpa)

$$KC = \left(1 + \left(\frac{20}{38} \right)^2 \times \left(\frac{130}{60} \right)^{2/3} \right)^{0.5} \times 60$$

$$K_c = 1.21 \cdot 60$$

$$K_c = 72.79$$

Tabla 17: Cálculo del pavimento rígido metodología AASHTO

DISEÑO DE PAVIMENTO RIGIDO		
Cargas de trafico vehicular impuestos al pavimento	ESAL (W18)	410656
CBR de la sub Rasante (%)	CBR=	15.0%
Resistencia del concreto (kg/cm ²)	(f'c)	280.0
Modulo elástico del concreto (PSI) E=57000 x (f'c) ² ; f'c en PSI	Ec	3597208.7
Resistencia media del concreto a flexo tracción a os 28 días (kg/cm ²), Mr=a√(f'c)	Mr	53.21
Módulo de reacción de la subrasante (Mpa/m)	Ko	62.00
CBR mínimo de la sub base (%)	CBR (sub B)	44.32%
CBR mínimo de la sub base definido (%)	CBR DEF	50%
Módulo de reacción de la sub base granular (Mpa/m)	K1 (sub)	130.00
Espesor de la sub base granular (cm) recomendada por el MTC	h=	20.00
Coeficiente de reacción combinado (Mpa) $K_c = \left(1 + \left(\frac{20}{38}\right)^2 \times \left(\frac{130}{60}\right)^{2/3}\right)^{0.5} \times K_o$	Kc	72.79
Tipo de trafico	Tipo	TP2
Índice de serviciabilidad	Pi	4.5

inicial según rango de trafico		
Índice de serviciabilidad final según rango de trafico	Pt	2
Diferencial de serviciabilidad según rango de trafico	ΔPSI	2.5
Desviación estándar combinado	So	0.4
Nivel de confiabilidad	Conf.	75.0%
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal	ZR	-0.674
Condiciones de drenaje	Cd	1.000
Coefficiente de transmisión de cargas en las juntas	J	3.1
Concreto hidráulico con pasadores		

ECUACION:

$$\log_{10} W_{8.2} = Z_R S_o + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}}$$

$$+ (4.22 - 0.32 P_1) \times \log_{10} \left[\frac{M_r C_{dt} (0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.51 \times j (0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c / K)^{0.25}})} \right]$$

DATOS PARA ECUACION

K c= 77.11 Mpa/m

So = 0.4

Ec = 24801 Mpa

R = 0.75 ZR = -0.674

$S'_c = M_r$
 = 4.35 Mpa $P_t = 2$

 $J = 3.1$ $\Delta PSI = 2.1$

 $C_d = 1$ $W_{80} = 4.1 \times 10^5$

Espesor de pavimento en milímetros	D =	190 mm	losa de concreto
espesor de Sub base granular	E=	20 cm	sub base

Resolviendo:

primer miembro	=	Segundo miembro
6.612783857	=	-0.2696+6.759356-
		0.12616+0.18657019
6.6	=	6.6
	ok	

Según el cálculo aplicando AASHTO para pavimentos rígidos obtuvo un espesor de 19 cm y una base o sub base granular de 20 cm.

4.6. Diseño pavimento en U-TCP en software Optipave 2.0.2

Parámetros de Diseño

Datos que serán utilizados en la nueva metodología de diseño U-TCP.

- T_D : 20 años
- Longitud de losa: 1.75 m
- Clase de borde: Libre
- IRI final: 3.5 m/km
- % de losas agrietadas: 20%
- Escalonamiento Promedio: 5 mm

- Confiabilidad: 80%
- Tráfico: 410,656 EE (análisis de flujo vehicular)
- Características del concreto:
 - ✓ Confiabilidad: 80%
 - ✓ σ : 0.4 Mpa
 - ✓ Incremento de Resistencia 28-90 días: 1.1 (10%)
 - ✓ Módulo de elasticidad (E) = 3 115 158,21 Psi
 - ✓ Sin fibra metálica
 - ✓ Peso específico del concreto: 2400 kg/m³
 - ✓ Módulo de Poisson = 0.15
 - ✓ **MR = 46 kg/cm²**
 - ✓ Retracción a 365 días (m/m) = 0.0007
- Suelo:
 - ✓ CBR: 13.20%
 - ✓ Clasificación AASHTO: A-2-6
 - ✓ Sello de Juntas: no requiere
 - ✓ barra de amarre: al eje central

Se inicia el programa OPTIPAVE2, como primer paso se realizó el ingreso los datos más importantes del proyecto, como vida útil de diseño: veinte años, y paños de 1.75 m de longitud, datos del estudio de suelos y posteriormente seguir con el resto de parámetros.

OptiPave 2

Archivo Configuración Ayuda

Proyecto Diseño Tráfico Hormigón Suelo Clima Resultados

Vida de Diseño: 20 (años)

Largo de Losa: 1,75 (m)

Espesor Losa: 150 (mm)

Calcular Espesor

Tipo de Borde: Libre

Losa Exterior con Sobreancho: No

Barras de Transferencia de Carga: No

Interfaz Pavimento-Base: No Adherido

IRI: 1,8 (m/Km)

Umbral Máximo Admisible de Diseño

Porcentaje de Losas Agrietadas: 20 (%)

Confabilidad: 80 (%)

IRI: 3,5 (m/Km)

Escalonamiento Promedio: 5 (mm)

80 (%)

80 (%)

OptiPave 2
TCPavements

OptiPave 2

Archivo Configuración Ayuda

Proyecto Diseño Tráfico Hormigón Suelo Clima Resultados

N° de Capas: 2

Tipo de Ensayo: CBR

	Tipo de Suelo	Módulo Resiliente Invierno (MPa)	Módulo Resiliente Verano (MPa)	Módulo de Poisson	Espesor (mm)
Base	A-1-a	300	300	0,35	150
2ª Capa	A-1-a	200	200	0,35	300
3ª Capa	A-1-a	100	100	0,5	5
4ª Capa	A-1-a				
5ª Capa	A-1-a				
6ª Capa	A-1-a				
Subrasante	A-2-6	78	90	0,35	

Resistencia a la erosión (Capa Bajo el Pavimento): 2

Coefficiente de Frición Pavimento-Base: 0,65

Material Fino Bajo Malla N° 200 (Capa Bajo el Pavimento): 8 (%)

Ayuda

OptiPave 2
TCPavements

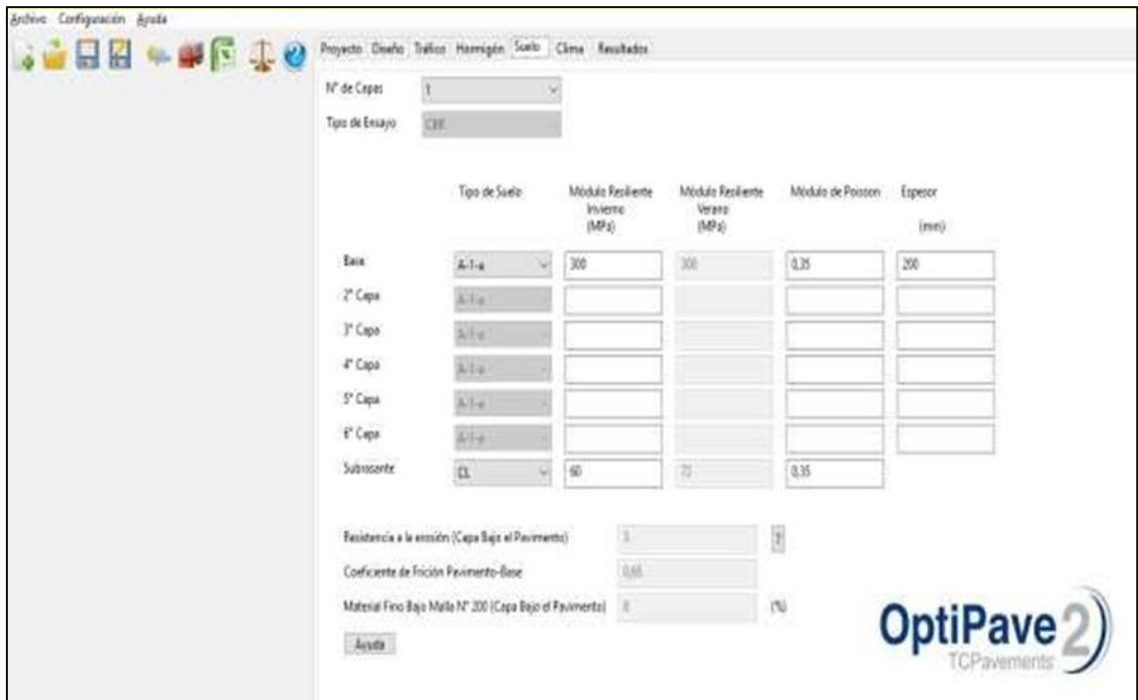


Figura 16. Resultados de Ensayos de suelos CBR.

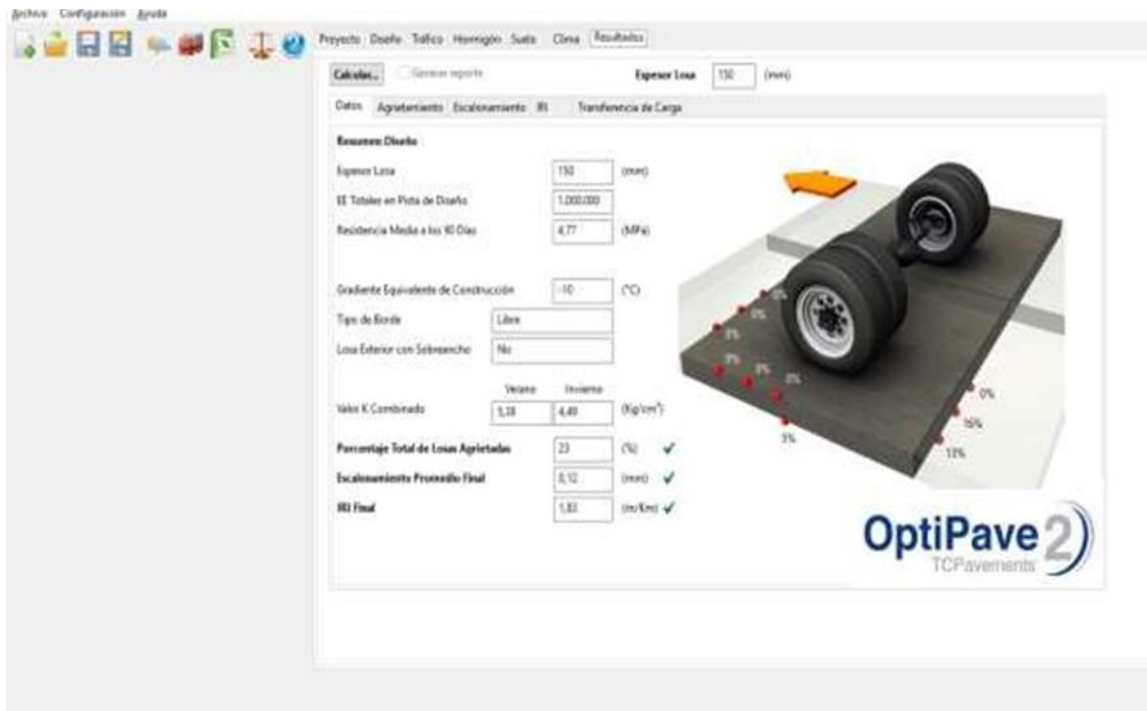


Figura 18. Resultado de espesor de Losa según U-TCP de 13 cm

Resultado de espesor de pavimento según Método AASHTO:

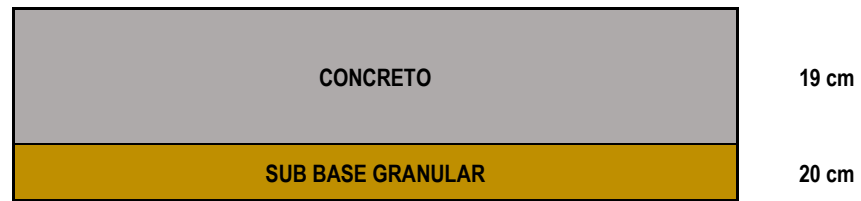


Figura 18. Estructura de losa según AASHTO

Resultado de espesor de pavimento según Método U-TCP:

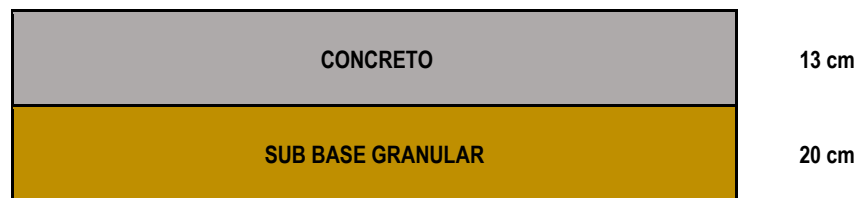


Figura 18. Estructura de losa según AASHTO

Por la tanto se determina el efecto en la reducción del espesor del pavimento entre el método AASHTO que resulto con 20 cm de espesor contra el método U-TCP que resulto con 13 cm de espesor reduciéndose con esta segunda metodología realizada en la investigación.

Según el tercer objetivo que es cuantificar la diferencia que habrá en los costos de fabricación del pavimento entre estas dos metodologías para la av. Los diamantes, Distrito de Piura, 2022 se realizaron el análisis de costos y el presupuesto y se evaluó la diferencia de costos entre estos dos métodos.

Se elaboró el presupuesto para la fabricación de pavimentos tipo AASHTO93, utilizando como datos los costos unitarios y precios del mercado para su respectivo análisis.

Tabla 18: Costo de pavimento rígido metodología AASHTO

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/
1	PAVIMENTOS RIGIDO - AASHTO				
1.01	TRABAJOS PRELIMINARES				
01.01.01	TRAZO, NIVELES Y REPLANTEO	m2	5,600.00	0.65	3,640.00
1.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
01.02.01	CORTE A NIVEL SUB RASANTE	m3	3,000.00	7.7	23,100.00
01.02.02	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	3,750.00	9.98	37,425.00
1.03	PAVIMENTOS RIGIDO				
01.03.01	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB-RASANTE	m2	5,600.00	3.86	21,616.00
01.03.02	CONFORMACION Y COMPACTACION DE MEJORAMIENTO CON MATERIAL OVER E=0.20 m	m2	5,600.00	12.26	68,656.00
01.03.03	CONFORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE BASE GRANULAR E=0.25M	m2	5,600.00	13.51	75,656.00
01.03.04	CONCRETO F' C=280 KG/CM2 EN P.R. E=0.19m CALZADA	m3	1140.00	470.00	535,800.00
01.03.05	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE CALZADA	m2	857.58	36.79	31,550.37
COSTO TOTAL					797,443.37

Fuente: Elaboración propia.

Se elaboró el presupuesto del pavimentos AASHTO93, utilizando como datos los costos unitarios y precios del mercado para su respectivo analisis.

Tabla 19: Costo de pavimento rígido diseñado U-TCP

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/	Parcial S/
1	PAVIMENTOS RIGIDO METODO TCP				
1.01	TRABAJOS PRELIMINARES				
01.01.01	TRAZO, NIVELES Y REPLANTEO	m2	5,600.00	0.65	3,640.00
1.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				
01.02.01	CORTE A NIVEL SUB RASANTE	m3	3,000.00	7.7	23,100.00
01.02.02	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	3,750.00	9.98	37,425.00
1.03	PAVIMENTOS RIGIDO				
01.03.01	PERFILADO Y COMPACTADO DE SUB-RASANTE	m2	5,600.00	3.86	21,616.00
01.03.02	CONFORMACION Y COMPACTACION DE MEJORAMIENTO CON MATERIAL OVER E=0.25m	m2	5,600.00	12.26	68,656.00
01.03.03	CONFORMACIÓN Y COMPACTACIÓN DE BASE GRANULAR E=0.20 M	m2	5,600.00	13.51	75,656.00
01.03.04	CONCRETO F´C=210 KG/CM2 EN P.R. E=0.13 m CALZADA	m3	780	374.28	291,938.40
01.03.05	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE CALZADA	m2	857.58	36.79	31,550.37
COSTO TOTAL					553,581.77

Fuente: Elaboración propia.

Según los resultados la diferencia que existe entre en el costos de fabricación del pavimento con AASHTO y el U-TCP en la av. Los diamantes, Distrito de Piura, es de S/ 243,861.60 mas que presenta el de la metodología AASHTO .

En la Tabla 19, se detallan la información final realizada en el desarrollo de la investigación según AASHTO93 y TCP, de acuerdo a las condiciones presentadas en la tesis realizada en la AV. Los Diamantes de Piura, podemos observar que la diferencia de costos equivale al 44% de diferencia de porcentajes presentando un ahorro en la ejecución.

Tabla 20: Comparación de resultados

N°	TIPO DE	ESPESOR	DIMENSIONES	TOTAL
	PAVIMENTO			
1	AASHTO93	E = 0.13 m	L = 1.75 m	S/ 797,443.37
2	TCP	E = 0.19 m	L = 3.50 m	S/ 553,581.77
	DIFERENCIA	E = 0.06 m	----	S/ 243,861.60

Fuente: Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN

Segun Florez Camacho, Morales Cortes, & Rodriguez Pacheco (2019): “Análisis Comparativo De Diseño De Pavimentos Vs Tecnología TCP (Geometría Optimizada) Para La Carrera y Leticia, Del Municipio De Agua de Dios, Cundinamarca”, concluyen que las losas optimizadas muestran económicamente un ahorro significativo con respecto al metodo tradicional, cumpliendo al igual con los parametros minimos y la disminucion del espesor de la losa es considerablemente ,en nuestra unvestigacion igualmente concondarnos con respecto al metodo TCP para el diseño de pavimentos rigidos pues se demostro una reducción en el costo de construccion, presupuestandose para un pavimento AASTHO un costo de S/ 797,443.37 y para un pavimento TCP un costo de S/ 553,581.77 siendo esta ultimo menor en 44% en relación con el diseño de un pavimento con el metodo AASTHO ,se cumplio igualmente con los parametros presentando tambien un menor espesor de losa.

Asimimso , López Chaparro (2015): “Comparación Entre dos Metodologías De Diseño Para Pavimento y el Diseño Requerido para el Corredor Mulaló – Loboguerrero”, muestra que los pavimentos rígidos son más costosos que otros tipos de pavimentos, pero dependiendo de las condiciones climáticas locales y el mantenimiento regular establecido, los pavimentos flexibles pueden ser más costosos debido a las medidas requeridas para mantener sus capacidades funcionales y estructurales, en nuestro caso el pavimento de concreto diseñado con el metodo AASTHO resulto ser mas costoso afirmando lo mencionado en la tesis de referencia y la eleccion de este pavimento de tipo rigido se debio al tipo de zona pues la ciudad de Piura es zona con climas lluviosos y con presencia de fenomenos naturales que afectan mucho a las vias de acceso y carreteras y pavimentos asi que con la finalidad de mantener su vidad util y la capacidad funcional y estructural ; el pavimento se elegio un pavimento de concreto en esta avenida.

Según ; Cabrera Illescas & Urgiles Parra,(2017): “Análisis de sensibilidad de parámetros en el diseño de pavimentos rígidos por los métodos de la AASHTO y PCA”, donde su objetivo principal es evaluar ambos métodos teniendo en cuenta la sensibilidad de los parámetros más influyentes en el diseño, con lo cual concluyeron que dichos parámetros juegan un papel importante a la hora del diseño, dando estos una confiabilidad muy alta para la obtención de los espesores de losa en ambos métodos , igualmente se evaluaron los dos métodos según sus parámetros para su cálculo respectivo AASHTO y PCA afirmando que ambos son muy importantes para el diseño y la obtención de espesores cada uno con sus respectivas características.

Asimismo Gomez Benites & Rivero Avila, (2021): “Análisis Comparativo Del Diseño De Pavimento Rígido En La Zona El Trópico, Distrito De Huanchaco, Trujillo- La Libertad”, menciona que según los parámetros y criterios de diseño según lo indican los métodos AASHTO 93 y TCP, se obtuvieron resultados que muestran que para el método AASHTO 93 la estructura del pavimento tendrá una capa de rodadura de losa con espesor de $e=0.20\text{m}$ y una sub base de $e=0.15\text{m}$ y para el método TCP , la losa de concreto tiene un espesor de $e=12\text{ cm}$ y subbase $e=15\text{ cm}$, lo que refleja claramente que el diseño generado por la aplicación del TCP es el más conveniente sin duda.

Nuestra investigación presenta diferencias en los espesores de losas y de la sub base; según el diseño por U-TCP resultó un espesor de 13 cm con dimensiones de losa de 1.75 x 1.65 m; y un espesor de sub base de 20 cm y en el diseño AASHTO se determinó un espesor de losa de 20 cm y dimensiones de losa de 3.5 x3.5 m y una sub base de 20 cm, concluyendo que el espesor del pavimento TCP en efecto reduce en 7 cm del AASHTO, lo que representa el 35 % menos en espesor lo que se concuerda es que el pavimento con el método TCP es más conveniente económicamente.

VI. CONCLUSIONES

1. Concluimos que, al analizar los cálculos de la carga de trabajo de los dos métodos, el diseño de pavimento duro con el U-TCP tiene un mejor rendimiento que el AASHTO. Por lo tanto, se acepta la suposición propuesta y los esfuerzos resultantes para el pavimento U-TCP son menores que para el pavimento soportado por el AASHTO.
2. Se concluye que en el modelo TCP resultó un pavimento de 13 cm y con paños de losa de 1.75 m x 1.65 m; y una subbase de 20 cm de espesor y en modelo AASHTO se determinó una losa de 20 cm de espesor y paños de losa con medidas de 3.5 m x 3.5 m y 20 cm de subbase, por lo tanto, se concluye que con el modelo U-TCP se reduce en 7 cm el pavimento en comparación con el método AASHTO, demostrando así una disminución en su espesor en un 35 %.
3. Se concluye que en los costos de fabricación de pavimento de concreto con el método U-TCP presenta menor costo en comparación con los diseñados por AASTHO, cumpliendo con los requisitos técnicos mínimos y mostrando ahorros económicos ambos se analizaron en la misma área pavimentada y el método U-TCP redujo los costos en un 44,0 % en comparación con el pavimento duro AASHTO tradicional.

VII. RECOMENDACIONES

1. Es recomendable que los tecnólogos y profesionales que desarrollan dichos proyectos a considerar alternativas al método U-TCP y seguir los procedimientos técnicas proporcionadas por expertos.
2. Es recomendable que las empresas constructoras que realicen un estudio de planeamiento adecuado para la ejecución del proyecto a fin de ahorrar precios de materiales y mano de obra para proyectos futuros.
3. El método U-TCP es muy importante en el diseño de pavimentos rígidos, especialmente en lugares donde la temperatura cambia, y de acuerdo al convenio del MTC y SENAMHI, se recomienda utilizar el método U-TCP para adaptarse a nuestro país, que permitirá realizar mejoras en el diseño de acuerdo al tipo real de área asfaltada.
4. Existe la necesidad de actualizar los métodos de diseño de pavimentos para optimizar los costos y la duración del proyecto, importantes también introducir y plantear nuevas visiones en el área de la construcción con mejores prácticas.

REFERENCIAS

- Cabrera Illescas, A. B., & Urgiles Parra, D. d. (2017). Análisis de sensibilidad de parámetros en el diseño de pavimentos rígidos por los métodos de la AASHTO y PCA [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27328>
- Capani Paucar, A., & Dueñas Jurado, C. (2013). Estudio y evaluación de pavimentos de concreto por el método tcp en Quintanillapampa Distrito de Ascensión - Huancavelica [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Huancavelica]. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/231>
- Castillo Adrianzen, D. A., & Castro Maradiegue, J. J. (2021). Análisis comparativo de costos entre el diseño estructural de un pavimento flexible frente a un pavimento rígido para el mejoramiento del camino vecinal Yapato-Tajamar-Pampa de Loro distrito de Sechura – Piura [Tesis de Grado, UPAO]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7100>
- Córdova Farfán, K. Y., & Cruz Pedemonte, L. R. (2020). Diseño estructural de pavimento rígido utilizando el método AASTHO 93, de la Av. Ramón Castilla, en el distrito de Chulucanas-Morropón-Piura.2019 [Tesis de Grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55763>
- Díaz Zamora, K. M., & Hoyos Fernández, T. (2019). Comparación Técnico y Económico de Pavimentos Optimizados (TCP) y Pavimentos Rígidos (AASHTO 93), de Acuerdo con las Condiciones Locales de Jaén [Tesis de Grado, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/248>
- Espinoza Correa, L. E. (2018). Análisis de alternativas en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos por el método AASHTO 93 [Tesis de Grado, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30348>

- Florez Camacho, A. S., Morales Cortes, W. F., & Rodriguez Pacheco, Y. (2019). Estudio comparativo de metodología tradicional de diseño de pavimentos versus tecnología TCP (geometría optimizada) para la vía entre las veredas la Carrera y Leticia, del Municipio de Agua de Dios, Cundinamarca [Tesis de Grado, UNIMINUTO]. Repositorio Institucional. https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/7763/1/T.IC_FlorezCamachoAngieSoledad_2019.pdf
- Gomez Benites, W. M., & Rivero Avila, B. E. (2021). Análisis comparativo del diseño de pavimento rígido de losa corta y el pavimento rígido tradicional en la zona el Trópico, distrito de Huanchaco, Trujillo - La Libertad [Tesis de Grado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7095>
- López Chaparro, H. S. (2015). Análisis comparativo entre diferentes metodologías de diseño para estructuras de pavimento implementando los parámetros de diseño requeridos para el corredor Mulaló - Loboguerrero [Tesis de Especialización, Universidad Militar Nueva Granada]. Repositorio Institucional . <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/13950>
- Mendoza Chuquillanqui, P., & Quispe Serpa, E. G. (2021). Análisis Comparativo Entre los Diseños del Método AASHTO 93 Vs. el Metodo TCP para Pavimentos Rígidos en el Distrito de Curicaca-Jauja-Junín [Tesis de Grado, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2947>
- Minchán Lezcano, C. K. (2019). Análisis comparativo de estructuras de pavimento rígido mediante métodos de diseño AASHTO y PCA aplicado en una vía pública, Cajamarca - 2019 [Tesis de Grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22273>
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de Ensayo de Materiales. repositorio nacional. https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual%20Ensayo%20de%20Materiales.pdf

MINISTERIO de Transporte y Comunicaciones. 2013. *Manual de Carreteras - Conservación Vial*. Lima : s.n., 2013.

MINISTERIO de Transporte y Comunicaciones. 2014. *Manual de Carreteras - Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos - Sección Suelos y Pavimentos*. Lima : MTC, 2014.

MINISTERIO de Transporte y Comunicaciones 2017. *Manual de ensayo de Materiales*. Perú : s.n., 2017.

MINISTERIO de Transporte y Obras Públicas . 2012. *Manual de Construcción de Pavimentos Rígidos, Normas para pavimentos Rígidos, Tomo 2*. Ecuador : s.n., 2012.

MINISTERIO de Vivienda Construcción y Saneamiento. 2010. *Reglamento Nacional de Edificaciones CE.010, Pavimentos Urbanos*. Perú : s.n., 2010.

ANEXOS

ANEXO 01: Matriz de operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	dimensiones	Definición conceptual	indicadores	Esc. De medición
Diseño de pavimento	El diseño del pavimento es un proceso por el cual se determina los componentes estructurales de un segmento vial, teniendo en cuenta las condiciones de su entorno (Sánchez, 2012)	Las metodologías AASHTO y U-TCP, son utilizadas para diseños de pavimentos, empleando parámetros de tráfico vehicular, suelos, etc., para determinar el espesor del pavimento	Parámetros de tráfico vehicular	característica fundamental de circulación, variable básica de análisis de tráfico	IMDa	Razón
					Ejes equivalentes	
			Parámetros de mecánica de suelos	Son las características físico – mecánicas del suelo	Granulometría	Razón
					Contenido de humedad	
					Limite liquido	
					Índice de plasticidad	
		Estructura de pavimento según AASHTO	Capa o conjunto de materiales para una superficie de rodadura	Proctor	Razón	
				CBR		
		Estructura de pavimento según U-TPC	Capa o conjunto de materiales para una superficie de rodadura	Espesor de losa	Razón	
				Espesor de base granular		
				Espesor de sub base granular		

ANEXO 02: Matriz De Consistencia

Matriz de consistencia				
Formulación del Problema	Objetivos	Hipótesis	Diseño de investigación	Variable
<p>General:</p> <p>¿Cuál será el óptimo diseño obtenido entre el método AASHTO y el método U-TCP para la av. Los Diamantes, Distrito de Piura, 2022?</p>	<p>General:</p> <p>establecer el óptimo diseño obtenido por los métodos AASHTO y U-TCP para la av. Los Diamantes, Distrito de Piura, 2022.</p>	<p>General:</p> <p>el diseño obtenido por los métodos AASHTO y U-TCP será el diseño ideal para la av. Los Diamantes, Distrito de Piura, 2022</p>	<p>Tipo de Investigación:</p> <p>Esta investigación será del tipo aplicada, porque se emplearán conocimientos científicos existentes, métodos como AASHTO y U-TCP para determinar el óptimo diseño del pavimento.</p> <p>La presente investigación es de tipo Aplicada debido a que se centra en encontrar una solución practica a un problema identificado, (Rodríguez, 2018).</p> <p>La investigación es de nivel cuantitativa descriptiva, porque busca recoger información sobre las propiedades, características y procesos del problema planteado, en el cual se hará uso el instrumento del cuestionario virtual, (Yanez, 2017).</p>	<p>Diseño de pavimento</p>
<p>Específicos:</p> <p>-¿Cuál será la diferencia de resistencia de diseño del pavimento entre el método AASHTO y el método U-TCP en la av. Los diamantes, Distrito de Piura, 2022.</p>	<p>Específicos:</p> <p>- Determinar la diferencia de resistencia de diseño del pavimento entre el método AASHTO y el método U-TCP en la av. Los diamantes, Distrito de Piura, 2022.</p>	<p>Específicos:</p> <p>-La aplicación del diseño obtenido brindara una mejor resistencia para la av. Los</p>	<p>Diseño de Investigación:</p> <p>El diseño realizado en el presente estudio es no experimental, ya que se basa fundamentalmente en la observación y en la recolección de datos con el fin de describir y establecer la incidencia de las variables en un determinado periodo, (Mata Solis, 2019).</p> <p>Es Correlacional, información respecto a la relación actual entre dos o más variables, que permita predecir su comportamiento futuro.</p>	

<p>Distrito de Piura, 2022?.</p> <p>-¿Qué efecto tendrá en la reducción del espesor del pavimento entre el método AASHTO y el método U-TCP en la av. Los diamantes, Distrito de Piura, 2022?.</p> <p>-¿Qué diferencia habrá entre los costos de fabricación del pavimento entre el método AASHTO y el método U-TCP en la av. Los diamantes, Distrito de Piura, 2022?</p>	<p>- Determinar el efecto en la reducción del espesor del pavimento entre el método AASHTO y el método U-TCP en la av. Los diamantes, Distrito de Piura, 2022.</p> <p>- Cuantificar la diferencia que habrá en los costos de fabricación del pavimento entre el método AASHTO y el método U-TCP en la av. Los diamantes, Distrito de Piura, 2022.</p>	<p>diamantes, Distrito de Piura, 2022.</p> <p>- La aplicación del diseño obtenido brindara una notoria reducción del espesor de pavimento para la av. Los diamantes, Distrito de Piura, 2022.</p> <p>- Debido a la comparativa de los dos métodos de diseño se obtendrá un mejor panorama de costos de fabricación del</p>		
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

		pavimento para la av. Los diamantes, Distrito de Piura, 2022.		
--	--	---------------------------------------------------------------------------	--	--

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 03: Formato N° 01: Formato Resumen del día - Clasificador vehicular - Estudio de tráfico lunes (06/06/2023)



FORMATO RESUMEN DEL DIA - CLASIFICACIÓN VEHICULAR ESTUDIO DE TRÁFICO

TRAMO DE LA CARRETERA	AV LOS DIAMANTES		
SENTIDO	E	←	0
UBICACIÓN			

ESTACIÓN	1	DIA		1
CODIGO DE ESTACIÓN	1			
DIA Y FECHA	Lunes	06	6	2023

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
DIAGRA VEH.																				
06-07	5		10		2	6	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
07-08	6		7		5	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
08-09	4		8		6	6	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25
09-10	8		9		5	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29
10-11	6		8		4	8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27
11-12	4		7		6	6		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23
12-13	5		8		4	4		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21
13-14	4		6		5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20
14-15	6		9		4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23
15-16	4		9		4	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23
16-17	4		9				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
17-18	4		10				-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14
TOTAL	60	0	100	0	45	55	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	268

Fuente: Plantilla de Conteo de Tráfico - Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

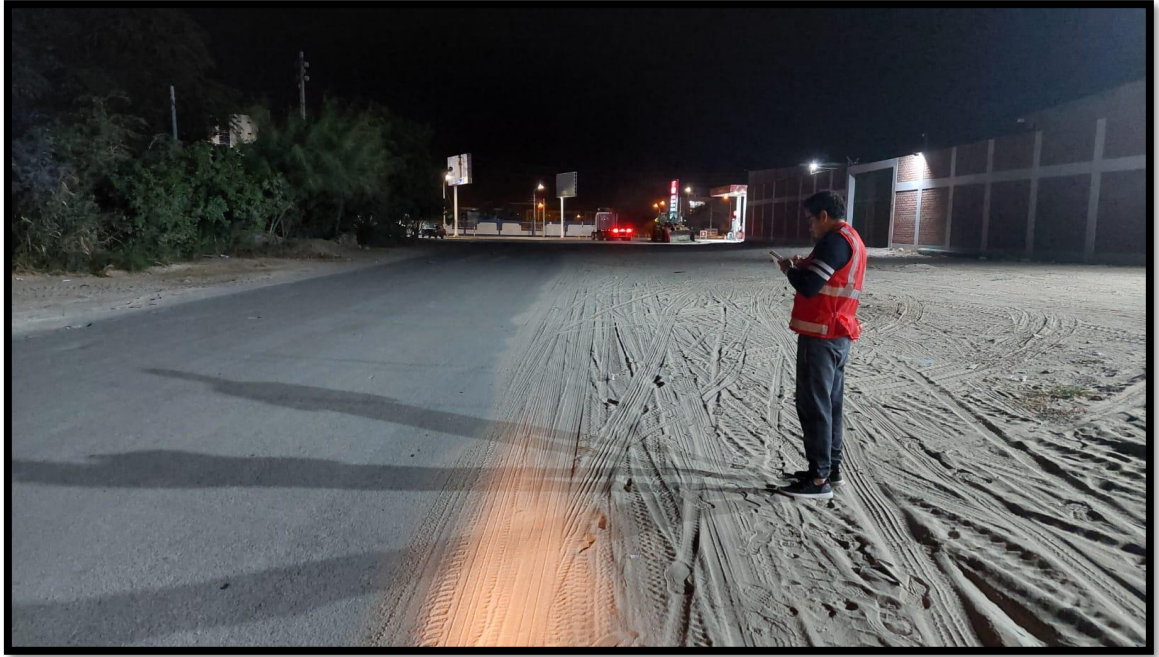
ANEXO 04: Panel Fotográfico



Vistas fotográficas de estudio de tráfico de día.



Vistas fotográficas de estudio de tráfico de día.



Vistas fotográficas de estudio de tráfico de noche.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, GALAN FIESTAS JOSÉ EDWIN, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - PIURA, asesor de Tesis titulada: "Comparativo de Diseño de Pavimento de la AV. Los Diamantes Mediante los Métodos AASHTO vs U-TCP para el Tramo 0+000 hasta 0+800, Distrito de Piura 2022", cuyos autores son POZO FERIA JOSE LUIS, PACHECO VASQUEZ LUCIA DAMARIS, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 25.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

PIURA, 03 de Octubre del 2023

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
GALAN FIESTAS JOSÉ EDWIN DNI: 44741619 ORCID: 0009-0005-9867-3637	Firmado electrónicamente por: JGALANFI el 16-10- 2023 09:26:33

Código documento Trilce: TRI - 0651921