

Application of the AASHTO 93 method in road design to optimize the operational condition of the Casagrande-Roma-Chiclin section

Aaron Rodolfo Castaneda-Verastegui¹ , Kiara Anais Esquen-Vasquez¹ ,
Juan Carlos Martell-Ortiz¹ , Emzon Enrique Murga-Torres¹ 
acastanedav@ucvvirtual.edu.pe, kaesquene@ucvvirtual.edu.pe,
jmartellor@ucvvirtual.edu.pe, emurgat@ucv.edu.pe

¹Departamento de Ingeniería Civil, Universidad César Vallejo, Perú

Abstract– This research was presented in response to the need to improve the operational condition of a 12-km stretch of road located on the Casagrande-Roma-Chiclin highway. This was due to a high degree of deterioration in the surface and structural layers of the pavement comprising the section. Therefore, various studies were conducted, highlighting the different requirements and procedures that must be followed to correctly implement the AASHTO 93 method. The overall objective was to design a flexible pavement using the AASHTO 93 method to improve the operational condition of the Casagrande-Roma-Chiclin section in the province of Ascope, La Libertad, thus contributing to road safety, transportation efficiency, and the economic development of the region.

A quantitative methodology was employed, requiring data collection from traffic studies, soil studies, precipitation studies, and the development of the pavement design for the roadway. The structural design proposed a structure composed of a 10 cm surface layer, a 25 cm granular base, and a 30 cm subbase. This design proposal was presented with the goal of improving the roadway's operational condition by using the AASHTO 93 method for design.

Keywords– AASHTO 93 method, IMDS, CBR, pavement design.

I. INTRODUCCIÓN

El tramo en estudio Casagrande-Roma-Chiclin está situado en la provincia de Ascope, departamento de La Libertad, y tiene una longitud aproximada de doce kilómetros; este conecta localidades con un gran número de pobladores y contribuye al progreso agroindustrial de la región, reconocida por su producción de caña de azúcar. Actualmente presenta riesgos en su operatividad. Según [8] siendo el deterioro del pavimento como consecuencia del cambio climático y del incremento constante del tráfico vehicular, los pavimentos flexibles tradicionales presentan una resistencia insuficiente frente al deterioro, especialmente bajo condiciones extremas de altas temperaturas y cargas pesadas, las cuales representan un riesgo significativo para la seguridad vial. En este estudio se aclaran conceptos fundamentales como la condición operacional de una vía, entendida como el estado funcional que presenta en relación con su capacidad para permitir un

tránsito seguro, cómodo y eficiente, lo que implica no solo la resistencia estructural del pavimento, sino también la seguridad de los usuarios y la continuidad del servicio vial. En este contexto se propone el uso de un pavimento flexible, conformado por varias capas que trabajan en conjunto para soportar las cargas de los vehículos, donde la carpeta asfáltica, la base granular y la subbase transmiten progresivamente los esfuerzos hacia la subrasante, garantizando así un adecuado desempeño de la carretera. El diseño optimizado de pavimento hace referencia a la correcta determinación de los espesores de cada capa considerando el tránsito proyectado, las propiedades del suelo y las condiciones climáticas de la zona, lo que permite evitar fallas prematuras, asegurar mayor durabilidad y reducir costos innecesarios derivados del sobredimensionamiento. Para este trabajo se emplea el método AASHTO 93, desarrollado por la American Association of State Highway and Transportation Officials, considerado una de las metodologías más utilizadas a nivel internacional para el diseño estructural de pavimentos, basado en el cálculo de los ejes equivalentes acumulados (ESAL), que representan la carga total ejercida por el tránsito durante la vida útil de la vía, e integrando parámetros como la resistencia del suelo de fundación, la proyección del tránsito, las condiciones ambientales y el nivel de serviciabilidad esperado. Sus principales ventajas son su carácter práctico, su amplia aceptación técnica y su capacidad de dimensionar pavimentos confiables para distintos niveles de tránsito; no obstante, presenta limitaciones al fundamentarse en ensayos realizados en carreteras de Estados Unidos, lo que puede no reflejar completamente la realidad local, además de considerar de manera limitada los efectos de climas extremos y no incorporar con detalle las cargas de vehículos modernos ni la viscoelasticidad de nuevas mezclas asfálticas. La aplicación del método AASHTO 93 constituye una oportunidad para dar solución a los riesgos actuales y atender futuras necesidades, ya que optimizar el estado operativo de este tramo no es únicamente una exigencia técnica, sino un requerimiento esencial para mejorar la calidad de vida en la provincia de Ascope y en todo el departamento de La Libertad. Según [9] resulta preocupante que diversas empresas empleen el AASHTO 93 sin incorporar las evoluciones más recientes del método,

mientras que la implementación del AASHTO 93 Plus, que considera la viscoelasticidad y la dependencia de la temperatura en las mezclas asfálticas, demuestra que este nuevo enfoque no solo proporciona coeficientes más adecuados, sino que también se ajusta mejor a las condiciones reales del deterioro del pavimento. De este modo surge la problemática central de la investigación: de qué manera el diseño vial utilizando el método AASHTO 93 puede mejorar la condición operacional de este importante tramo vial. Según [4], este método ha permitido durante mucho tiempo la creación de infraestructuras viales que cumplen con los requisitos fundamentales de resistencia y durabilidad frente a distintas condiciones ambientales y de tráfico, aunque con limitaciones en la evaluación de elementos geométricos más complejos y en el análisis de las cargas producidas por los vehículos modernos. El deterioro actual de la carretera ha generado problemas como el incremento de accidentes, el aumento de los costos de operación vehicular y las dificultades en el traslado de productos agrícolas, mientras que una adecuada aplicación de un diseño optimizado de pavimento flexible contribuirá a incrementar la seguridad en las vías y garantizar una intervención duradera y efectiva a largo plazo. Desde una perspectiva social, la investigación se justifica por el impacto positivo en la calidad de vida de los residentes de la región, ya que mejorar el estado operacional de la carretera no solo reduce los tiempos de desplazamiento y los riesgos de accidentes, sino que también fomenta nuevas oportunidades económicas y facilita el acceso a servicios esenciales como salud y educación. En términos metodológicos, la investigación resulta significativa porque propone un procedimiento sistemático para la creación de pavimentos flexibles que incluye el estudio de las condiciones actuales del tramo, investigaciones de tráfico, valoración de suelos y aplicación estricta del método AASHTO 93, lo que permite que el estudio funcione como referencia para futuras investigaciones de mejora vial, especialmente en vías secundarias que son vitales para el progreso regional, aunque a menudo reciben menor inversión y mantenimiento. En este sentido, el objetivo general de la investigación es diseñar un pavimento flexible utilizando el método AASHTO 93 para mejorar la condición operacional del tramo Casagrande-Roma-Chiclín, ubicado en la provincia de Ascope, departamento de La Libertad, contribuyendo así a la seguridad vial, la eficiencia del transporte y el desarrollo económico de la región, mientras que los objetivos específicos abarcan el estudio del tráfico para determinar volumen, composición y cálculo equivalente de acuerdo con el método AASHTO 93, la determinación de las propiedades físicas, mecánicas y del módulo resiliente mediante un estudio geotécnico del suelo, y el desarrollo del diseño estructural del pavimento flexible aplicando dicho método, formulando como hipótesis que la implementación de este diseño permitirá mejorar

significativamente la condición operacional del tramo Casagrande-Roma-Chiclín, incrementando la seguridad vial y reduciendo los costos de operación vehicular

II. RESULTADOS

A. Área de estudio

La carretera en estudio tiene una longitud total de doce kilómetros y corresponde a una vía de doble sentido con dos calzadas independientes, cada una de cuatro metros de ancho, lo que permite un tránsito fluido y seguro en ambas direcciones, respondiendo así a la necesidad de mejorar la capacidad vial y reducir los tiempos de desplazamiento en la zona.

La carretera se ubica en el departamento de La Libertad, dentro de la provincia de Ascope, y el trayecto en estudio inicia en el centro poblado de Casa Grande, continúa atravesando la localidad de Roma y finaliza en el sector de Chiclín; esta vía conecta zonas con alta actividad agrícola e industrial, por lo que su mejora o construcción constituye un impulso clave para el desarrollo económico y social de la región.



Fig. 1 Ubicación Tramo Casa Grande – Roma – Chiclín

B. Estudio de tráfico

Para el desarrollo del estudio de tráfico se estableció una estación destinada a contabilizar los vehículos, ubicada al inicio del puente “La Victoria” sobre el río Chicama.



Fig. 2 Ubicación de la estación de conteo

El registro y la clasificación del tránsito vehicular se realizaron mediante el método de conteo manual, una técnica que permite la observación directa y detallada del flujo vehicular en un punto específico; este procedimiento se ejecutó en la estación de conteo designada durante un periodo continuo de siete días consecutivos con monitoreo las veinticuatro horas del día, lo que garantiza una mayor precisión en la cuantificación del tránsito y permite identificar los volúmenes reales así como la composición vehicular en distintos horarios y días de la semana.

Las actividades de monitoreo comenzaron el lunes 3 de febrero de 2025 a las 06:00 horas y concluyeron el domingo 9 de febrero del mismo año, abarcando tanto los días laborables como los fines de semana, lo que permitió obtener una muestra representativa del comportamiento del tránsito bajo diversas condiciones, aspecto fundamental para el análisis posterior y para la estimación de indicadores como el Índice Medio Diario Semanal (IMDs) y el Índice Medio Diario Anual (IMDA).

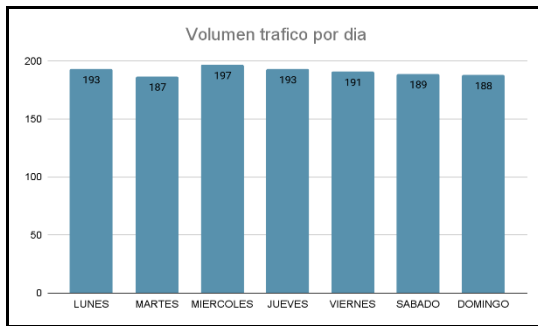


Fig. 3 Cantidad de vehículos contabilizados

Una vez obtenido el Índice Medio Diario Semanal (IMDs) a partir del análisis de los volúmenes de tránsito registrados durante la semana, se procede con el siguiente paso metodológico, que consiste en calcular el Índice Medio Diario Anual (IMDA). Este índice resulta fundamental en los estudios de tránsito, ya que brinda una visión más representativa y global del comportamiento del flujo vehicular a lo largo del año. Para su cálculo, se consideran los IMDs de cada semana, los cuales son ponderados según su nivel de representatividad dentro del conjunto anual. Como resultado de este proceso, se obtiene la siguiente tabla que presenta el IMDA, el cual servirá como base para futuros análisis de diseño vial, evaluación de capacidad, determinación de niveles de servicio y proyecciones del tránsito.

TABLA I
IMD ANUAL Y CLASIFICACIÓN VEHICULAR

TRÁFICO ACTUAL POR TIPO DE VEHÍCULO		
Tipo de vehículo	IMD	Distribución (%)
Automóvil	104	65.00
Camioneta	26	16.25
C.R.	3	1.88
Micro	0	0.00
Bus grande	0	0.00

Camión 2E	6	3.75
Camión 3E	2	1.25
Camión 4E	1	0.63
Semi trayler 2S1/2S2	3	1.88
Semi trayler 2S3	2	1.25
Semi trayler 3S1/3S2	2	1.25
Semi trayler ≥ 3S3	3	1.88
Trayler 2T2	4	2.50
Trayler 2T3	3	1.88
Trayler 3T2	1	0.63
Trayler ≥ 3T3	0	0.00
TOTAL, IMD	160	100.00

Como resultado del análisis del tránsito proyectado y de la caracterización de los vehículos pesados que circulan por la vía durante el periodo de diseño, se determinó un total de 1,968,225 ejes equivalentes (ESAL), valor que representa la carga acumulada que actuará sobre la estructura del pavimento a lo largo de los 20 años de vida útil considerados para el diseño.

Dicho valor ha sido fundamental para el dimensionamiento estructural del pavimento flexible, de acuerdo con los lineamientos establecidos por el método AASHTO 93,

garantizando una capacidad estructural adecuada frente a las condiciones de tránsito previstas.

C. Estudio de mecánica de suelos

Con el propósito de identificar las características del suelo de fundación en el tramo en estudio, se realizaron excavaciones tipo “calicatas”. En total, se ejecutaron 24 calicatas distribuidas a lo largo del tramo, cada una con dimensiones de 1.00 m de ancho, 1.00 m de largo y 1.50 m de profundidad, ubicadas en las progresivas que se detallan a continuación.

TABLA II
UBICACIÓN DE CALICATAS

Calicatas	Progresivas	Profundidad	Márgenes
C-1	Km 0+000	1.50 m	Izquierda
C-2	Km 0+500	1.50 m	Izquierda
C-3	Km 1+000	1.50 m	Izquierda
C-4	Km 1+500	1.50 m	Izquierda
C-5	Km 2+000	1.50 m	Izquierda
C-6	Km 2+500	1.50 m	Izquierda
C-7	Km 3+000	1.50 m	Izquierda
C-8	Km 3+500	1.50 m	Izquierda
C-9	Km 4+000	1.50 m	Izquierda
C-10	Km 4+500	1.50 m	Izquierda
C-11	Km 5+000	1.50 m	Izquierda
C-12	Km 5+500	1.50 m	Izquierda
C-13	Km 6+000	1.50 m	Izquierda
C-14	Km 6+500	1.50 m	Izquierda
C-15	Km 7+000	1.50 m	Izquierda
C-16	Km 7+500	1.50 m	Izquierda
C-17	Km 8+000	1.50 m	Izquierda
C-18	Km 8+500	1.50 m	Derecha
C-19	Km 9+000	1.50 m	Izquierda

C-20	Km 9+500	1.50 m	Izquierda
C-21	Km 10+000	1.50 m	Izquierda
C-22	Km 10+500	1.50 m	Izquierda
C-23	Km 11+000	1.50 m	Izquierda
C-24	Km 11+500	1.50 m	Izquierda

En el estudio de mecánica de suelos se detallaron aspectos fundamentales como el límite líquido, el límite plástico, el índice de plasticidad y el contenido de humedad, los cuales resultan cruciales para comprender el comportamiento de los suelos en el contexto del mejoramiento de carreteras.

- **Límite Líquido (LL):** Este parámetro se refiere al contenido de humedad en el cual el suelo pasa de un estado plástico a un estado líquido, el cual se determina mediante el ensayo de Casagrande y resulta esencial para la clasificación de los suelos y la evaluación de su comportamiento bajo condiciones de carga. Un límite líquido elevado puede indicar una mayor susceptibilidad a la deformación y al colapso en situaciones de saturación.
- **Límite Plástico (PL):** El límite plástico corresponde al contenido de humedad en el cual el suelo comienza a comportarse de manera plástica, es decir, puede moldearse sin romperse. Este valor se determina mediante la prueba del rodillo y resulta crucial para comprender la trabajabilidad del suelo durante los procesos de construcción.
- **Índice de Plasticidad (PI):** El índice de plasticidad se obtiene como la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico ($PI = LL - PL$), y proporciona información sobre el grado de plasticidad del suelo. Un valor elevado de este índice indica que el suelo es más plástico y, en consecuencia, más susceptible a experimentar cambios volumétricos frente a variaciones en el contenido de humedad.

Contenido de Humedad (w): El contenido de humedad corresponde a la cantidad de agua presente en el suelo, expresada como un porcentaje respecto al peso del suelo seco, y constituye un parámetro fundamental para evaluar tanto el estado del suelo como su comportamiento mecánico, pues influye directamente en la cohesión y en la fricción interna del material.

Estos parámetros resultan esenciales para la caracterización del suelo y la toma de decisiones en el diseño y la ejecución de proyectos de mejoramiento de carreteras, ya que inciden de manera directa en la estabilidad y la durabilidad de la infraestructura vial.

TABLA III
ESTUDIO MECÁNICA DE SUELOS

RESUMEN ESTUDIO MECÁNICA DE SUELOS					
Calicatas	Lim. Líquido (%)	Lim. Plástico (%)	Ind. Plasticidad (%)	AASHTO	Cont. Humedad (%)
C-1	37.46	20.68	16.78	A-6 (9)	8.40
C-2	34.18	16.57	17.61	A-6 (8)	8.50
C-3	36.72	16.38	20.34	A-6 (9)	8.80
C-4	38.13	15.64	22.49	A-6 (10)	9.80
C-5	37.62	17.17	20.45	A-6 (9)	8.50
C-6	37.70	17.34	20.36	A-6 (9)	9.50
C-7	NP	NP	NP	A-6 (9)	2.40
C-8	NP	NP	NP	A-2-7 (0)	2.40
C-9	NP	NP	NP	A-2-7 (0)	8.40
C-10	NP	NP	NP	A-2-7 (0)	8.40
C-11	NP	NP	NP	A-2-7 (0)	5.00
C-12	NP	NP	NP	A-2-7 (0)	5.60
C-13	22.78	13.63	9.15	A-2-4 (0)	6.40
C-14	25.54	13.54	12.01	A-2-6 (0)	6.60
C-15	25.90	12.16	13.74	A-2-6 (0)	5.80
C-16	26.08	12.34	13.74	A-2-6 (0)	5.50
C-17	29.34	11.61	17.73	A-2-6 (0)	5.40
C-18	30.98	11.67	19.31	A-2-6 (0)	5.70
C-19	NP	NP	NP	A-2-7 (0)	8.40
C-20	NP	NP	NP	A-2-7 (0)	5.10
C-21	NP	NP	NP	A-2-7 (0)	5.10
C-22	NP	NP	NP	A-2-7 (0)	6.30
C-23	NP	NP	NP	A-2-7 (0)	6.90
C-24	NP	NP	NP	A-2-7 (0)	7.20

De acuerdo con las características del suelo de fundación en el área evaluada, y con el propósito de diseñar un pavimento adecuado, se programaron ensayos CBR en muestras representativas del terreno, cuyos resultados se presentan a continuación.

TABLA IV
CAPACIDAD DE SOPORTE

CALICATA	PROGRESIVA	PROF.	TIPO DE SUELO		CBR (95% de MDS)
			SUCS	AASHTO	
C-1	Km 0+000	1.50 m	CL	A-6	5.5%
C-4	Km 1+500	1.50 m	CL	A-6	5.2%
C-7	Km 3+000	1.50 m	CL	A-6	8.2%
C-13	Km 6+000	1.50 m	SC	A-2-4	8.5%
C-19	Km 9+000	1.50 m	SP	A-2-7	9.1%
C-22	Km 10+500	1.50 m	SP-SC	A-2-7	10.1%

De los resultados obtenidos en las calicatas se observa que el tramo presenta un 45.83% de suelos granulares arcillosos, arenas y gravas con un alto índice de plasticidad (A-2-7), un 29.17% de arcillas de baja a mediana

compresión (A-6), un 20.83% de suelos granulares arcillosos, arenas y gravas con contenido de arcilla (A-2-6) y un 4.17% de suelos granulares arcillosos, arenas y gravas con alto contenido de finos (A-2-4), de acuerdo con la clasificación AASHTO

D. Estudio de Precipitaciones

El estudio de precipitaciones se realizó con el propósito de determinar la influencia que tienen las lluvias en el diseño del pavimento en el tramo Casagrande-Roma-Chiclín, considerando que se trata de una zona agrícola activa durante todo el año, lo que mantiene al suelo en constante contacto con la humedad. Por esta razón, al momento de efectuar el diseño se incorporaron dichos factores con el fin de evitar un sobredimensionamiento o un cálculo inadecuado en la elección de materiales que pudiera afectar la resistencia estructural del pavimento.

Para la recolección de los datos utilizados en el estudio de precipitaciones se consultaron las curvas IDF del SENAMHI, mediante las cuales fue posible identificar la intensidad de las lluvias en función del tiempo de duración del evento y su período de retorno. Dichas curvas resultan esenciales para estimar el caudal máximo esperado y, a partir de ello, determinar la necesidad de implementar sistemas de drenaje, como cunetas.

En el tramo donde se efectuó el diseño de pavimento no resulta necesario implementar un sistema de drenaje mediante cunetas, ya que las áreas circundantes, destinadas principalmente a uso agrícola, cuentan con un sistema de drenaje propio asociado al riego de las plantaciones de caña de azúcar. Este sistema favorece la filtración del agua proveniente de las precipitaciones y contribuye a evitar cualquier tipo de empozamiento.

En este caso se analizaron eventos con duraciones de 1 a 24 horas y diferentes periodos de retorno de 2, 10, 30 y hasta 100 años. Por ejemplo, un evento de una hora de duración con una recurrencia de 10 años presenta una intensidad promedio de apenas 3.9 mm/h, e incluso en un evento de 100 años la intensidad no supera los 11 mm/h, lo que evidencia que se trata de lluvias muy ligeras. Cabe señalar que otro aspecto clave de la zona es que las precipitaciones suelen concentrarse en los meses de marzo y abril, aunque su presencia y duración son reducidas.

E. Diseño estructural

En esta sección se presenta el diseño del mejoramiento de la carretera, detallando los espesores correspondientes a cada capa estructural:

- **Capa Superficial:** 10 cm de mezcla asfáltica, diseñada para proporcionar una superficie de rodadura duradera y resistente al desgaste.
- **Capa de Base:** 25 cm de material granular estabilizado, que actúa como soporte para la capa superficial y distribuye las cargas al suelo subyacente.

- **Capa de Subbase:** 30 cm de material granular, que mejora la capacidad de drenaje y proporciona estabilidad adicional.
- **Capa de Subrasante:** Se mantendrá el suelo natural, el cual será evaluado y compactado adecuadamente para asegurar que cumpla con los requisitos de soporte.

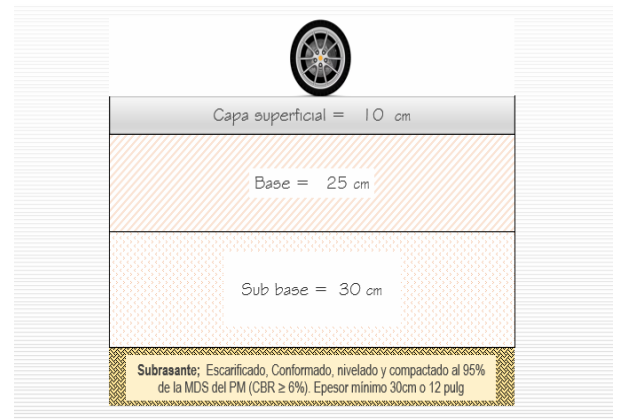


Fig. 4 Espesor de capas pavimento flexible

El contexto de los cálculos realizados para el diseño del mejoramiento de la carretera se fundamenta en una serie de consideraciones técnicas y normativas. En primer lugar, se evaluaron las cargas de tráfico esperadas, tomando en cuenta tanto el tipo de vehículos que circularán por la vía como el volumen de tránsito proyectado, información que resulta esencial para definir la resistencia requerida en cada capa del pavimento.

Además, se realizaron ensayos de mecánica de suelos con el fin de obtener información sobre las propiedades del terreno, tales como el límite líquido, el límite plástico y la capacidad de carga. Estos parámetros son fundamentales para comprender el comportamiento del suelo bajo distintas condiciones de humedad y esfuerzo, lo que resulta indispensable para asegurar la estabilidad y durabilidad de la carretera.

Los espesores de las capas se establecieron conforme a normativas y estándares de diseño vial, los cuales ofrecen directrices precisas para dimensionar de manera adecuada cada componente del pavimento. De este modo, se garantiza que el diseño no solo cumpla con los criterios de seguridad y durabilidad, sino que también resulte eficiente en el uso de costos y recursos.

F. Estudio Topográfico

La finalidad de realizar un levantamiento topográfico georreferenciado es obtener las coordenadas que conforman todo el tramo seleccionado para el estudio, así como determinar la superficie y, en este caso, las curvas de nivel de la carretera analizada. Esta información resulta esencial no

solo para el presente estudio, sino también para el desarrollo de futuros proyectos de levantamientos, replanteos y otras actividades relacionadas con la infraestructura vial.

Además, al trabajar con coordenadas georreferenciadas se asegura que los datos recopilados puedan integrarse de manera adecuada con otros sistemas de información geográfica (SIG) y que resulten útiles para replanteos, cálculos de volúmenes, diseños de infraestructura u otras aplicaciones técnicas futuras. En síntesis, el levantamiento fue indispensable para garantizar que las decisiones técnicas adoptadas en el marco del proyecto estén respaldadas por datos confiables y verificables del terreno.

Metodología

La metodología empleada para definir el establecimiento del control horizontal y vertical se llevó a cabo mediante procedimientos geodésicos, los cuales fueron implementados con el fin de ejecutar diversas actividades tanto en campo como en gabinete.

Reconocimiento de terreno: La realización del reconocimiento permitió establecer un planteamiento adecuado para llevar a cabo un correcto proceso de georreferenciación del proyecto y definir los puntos de apoyo necesarios. Asimismo, fue indispensable considerar una ubicación estratégica para instalar la estación geodésica, la cual servirá como base para la ejecución de los trabajos correspondientes.

Monumentación: Luego del reconocimiento, se logró determinar con mayor precisión la ubicación estratégica para el monumento que contendrá la placa de bronce destinada a señalar el punto geodésico. La selección de este punto se realizó considerando diversos criterios, entre ellos la visibilidad, la estabilidad del terreno, la facilidad para la instalación de los equipos y, principalmente, la garantía de que no sea removido durante la ejecución de la obra.

Posicionamiento geodésico: Después de analizar la ubicación del punto de control destinado al enlace y verificar su existencia en el terreno, se procedió a realizar las mediciones con GPS, tomando en cuenta el cumplimiento de los parámetros establecidos:

TABLA V
PARÁMETROS DE MEDICIONES

Mascara de Elevación	10°
Intervalo de Medición	05 Seg.
PDOP	Menor a 5
Nro. de Satélites	Mayor a 4 (03 Posición 01 Elevación)
Tiempo de Observación	Los tiempos de ocupación para los puntos de la red principal fue de 4.30 horas

Procesamiento de Información

La información recolectada es analizada y, posteriormente, se lleva a cabo el postproceso de las líneas base, considerando una serie de aspectos clave que aseguran la calidad y precisión de los datos. En primer lugar, se realiza

una revisión detallada de la solución de la línea base, ya que esta información no se encuentra disponible en los resúmenes convencionales. En este análisis se contemplan posibles errores en los componentes Norte, Este y Elevación, así como el número de mediciones utilizadas o descartadas.

Además, se verifica que la información correspondiente a la estación empleada en la solución coincida con las notas registradas en campo. Durante la ejecución de los trabajos, resulta fundamental prestar especial atención a aspectos como los nombres de las estaciones, las alturas de las antenas, los tipos y métodos de medición, así como los tiempos exactos de inicio y finalización de cada sesión.

También se verifica el resumen del seguimiento de fase de los satélites para cada estación, con el propósito de detectar posibles interrupciones o pérdidas de señal en las frecuencias L1 o L2. Del mismo modo, se revisa el seguimiento de fases de los satélites combinados y se analizan los gráficos residuales de cada uno, los cuales muestran el valor del RMS de cada satélite, dato esencial para definir la solución de la línea base y descartar los intervalos que presentan valores elevados de RMS.

III. DISCUSIÓN

El cálculo del ESAL permite estimar la magnitud del deterioro que experimentará la estructura del pavimento a lo largo del tiempo, lo que influye directamente en la determinación del espesor de cada una de sus capas (subrasante mejorada, subbase, base y carpeta asfáltica). Diseñar sin considerar este parámetro puede conducir a una subestimación de las cargas reales, ocasionando estructuras inadecuadas y fallas prematuras, o, por el contrario, a sobredimensionamientos innecesarios que incrementan los costos de construcción. En este sentido, [1] señala que el uso del ESAL (Equivalent Single Axle Load) constituye un componente esencial en el proceso de diseño estructural de pavimentos, ya que permite cuantificar de manera acumulativa los efectos generados por el tránsito vehicular a lo largo del período de diseño.

Realizar un correcto estudio de tránsito constituye uno de los pasos más importantes para llevar a cabo el diseño de pavimento mediante el método AASHTO 93, ya que permite efectuar los cálculos de resistencia y proyectar las cargas a las que estará sometida la vía, además de estimar su tiempo de vida útil. En este sentido, [2] destacan la importancia de realizar el estudio de tráfico de manera adecuada, puesto que ello garantiza un diseño de pavimento correcto y evita que los parámetros establecidos sean subestimados o sobreestimados, lo que podría ocasionar fallas en la estructura del pavimento.

En los ensayos de CBR realizados se obtuvieron valores de 5.50%, 5.20%, 8.20%, 8.50%, 9.10% y 10.10%, los cuales permitieron clasificar la subrasante como buena y muy buena, siendo apta y resistente para soportar el paquete estructural del pavimento. Según [3] en su investigación se identificaron

diferentes tipos de suelo pertenecientes a la categoría S3, clasificados como “buenos”, y se obtuvo un valor de CBR del 23%, lo que, de acuerdo con los parámetros de diseño de pavimentos flexibles, permitió considerar a la subrasante como adecuada para resistir las cargas del paquete estructural.

Al realizar el estudio de suelos se identificaron las características del suelo de fundación presentes en el tramo de estudio. Para obtener muestras más precisas se ejecutaron calicatas, distribuidas desde la progresiva Km 0+000 hasta la progresiva Km 0+500, considerando toda la extensión de la carretera analizada. La importancia y confiabilidad de este procedimiento es resaltada por [5], quienes señalan que la realización de un estudio de suelos constituye un aspecto vital, ya que permite identificar las características físicas, mecánicas y la composición de las capas del terreno objeto de análisis. De igual manera, la ejecución de calicatas en las progresivas correspondientes garantiza la representatividad y precisión de los resultados obtenidos para el tramo en estudio.

Considerando que dentro del estudio de suelos también resulta fundamental el análisis granulométrico, este se ejecutó mediante el uso de tamices en cada una de las calicatas realizadas. Dicho procedimiento constituye un paso clave, ya que permite calcular con precisión el tamaño de las partículas que conforman el suelo del tramo evaluado. En este sentido, [7] destacan que la determinación granulométrica es una de las etapas más relevantes en la caracterización del terreno, pues posibilita identificar tanto el tipo de suelo como su composición, aportando información esencial para el diseño y la adecuada interpretación de las condiciones de la subrasante.

Se realizó un levantamiento topográfico empleando GPS Diferencial y el apoyo de un dron, lo que permitió recorrer con precisión la totalidad del tramo de carretera seleccionado para el estudio. Este levantamiento tuvo como finalidad generar la base necesaria para el diseño geométrico de la vía, garantizando un dimensionamiento adecuado y conforme a las condiciones reales del terreno. Al respecto, [3] señala que la correcta ejecución de un estudio topográfico constituye un aspecto esencial, ya que de este depende la confiabilidad de los datos utilizados en el diseño de pavimentos bajo el método AASHTO 93. Asimismo, dicho levantamiento es indispensable para desarrollar el diseño geométrico de la carretera de acuerdo con los lineamientos de la norma DG-2001, asegurando la funcionalidad y seguridad de la infraestructura vial.

El haber aplicado la metodología AASHTO 93 representa una ventaja significativa al momento de diseñar un pavimento flexible, ya que este método dispone de un manual en el cual se establecen de manera clara los parámetros y estudios necesarios para llevar a cabo un cálculo confiable y preciso. Dicho manual constituye una guía fundamental, pues orienta en la correcta aplicación de cada procedimiento requerido para garantizar un diseño estructural adecuado. En este sentido, [6] destacan que el uso del manual del método AASHTO 93 es un aspecto que siempre debe considerarse, debido a que en él se especifican los lineamientos técnicos y los criterios esenciales

que permiten obtener un diseño de pavimento flexible conforme a los estándares internacionales.

Teniendo en cuenta las ventajas que ofrece la aplicación del método AASHTO 93, es indispensable considerar que, al momento de realizar los estudios correspondientes, se debe garantizar un correcto dimensionamiento de la carretera en función de las condiciones propias del tramo en evaluación. En esta línea, [10] señalan que la metodología AASHTO 93 dispone de un manual que establece de manera detallada los procedimientos necesarios para llevar a cabo el diseño de pavimentos flexibles. Dicho manual permite adaptar los cálculos según los parámetros obtenidos en los estudios de campo y laboratorio de la ruta analizada, asegurando así resultados más confiables y una mayor durabilidad de la estructura vial.

III. CONCLUSIONES

El análisis del tránsito vehicular permitió determinar el número de ejes equivalentes acumulados (ESAL), parámetro fundamental en el diseño de pavimentos flexibles mediante la metodología AASHTO 93. El valor proyectado de 1,968,225 ESAL constituye un indicador representativo de la magnitud del tránsito pesado que incidirá sobre la vía durante el horizonte de diseño. Este resultado fue empleado como variable de entrada principal para la modelación estructural del paquete de capas, dado que el método AASHTO 93 se fundamenta en la caracterización del tránsito para el dimensionamiento de espesores. La adecuada estimación del ESAL asegura la coherencia del diseño con las condiciones reales de operación, permitiendo optimizar el desempeño mecánico del pavimento, prolongar su vida útil y minimizar la necesidad de intervenciones de mantenimiento correctivo en el mediano y largo plazo.

Los resultados de los ensayos de CBR permitieron identificar la variabilidad de la capacidad portante de la subrasante a lo largo del tramo en estudio. Se determinó que el 45.83% de las muestras corresponde a la clasificación A-2-7 (suelos granulares con elevado índice de plasticidad), alcanzando los valores más altos de CBR, con registros de hasta 10.1%, lo cual evidencia una adecuada capacidad de soporte para sustentar el paquete estructural del pavimento. Por otro lado, el 29.17% de los suelos fueron clasificados como A-6 (arcillas de baja a media compresión), cuyos valores de CBR oscilaron entre 5.2% y 8.2%, reflejando una resistencia significativamente menor. El porcentaje restante de las muestras se distribuyó entre las clases A-2-6 y A-2-4, que presentaron valores intermedios de CBR, representando una condición de soporte moderada. Esta clasificación permite establecer criterios diferenciales de diseño, en función de la heterogeneidad del terreno a lo largo del eje vial.

Después de llevar a cabo el estudio de suelos, se determinó que las condiciones de la subrasante son óptimas para el mejoramiento de la condición operacional de la vía

mediante la aplicación del método de diseño estructural de pavimentos AASHTO 93, ya que los resultados obtenidos en los distintos ensayos de caracterización —entre ellos CBR, granulometría y límites de consistencia— evidencian que el terreno posee una capacidad de soporte adecuada. Estos parámetros técnicos proporcionan la base necesaria para garantizar la confiabilidad del diseño, permitiendo dimensionar las capas del pavimento de manera eficiente y acorde con las solicitudes proyectadas.

Considerando los resultados obtenidos durante el diseño del pavimento flexible, se pudo verificar que los parámetros determinados cumplen con los requerimientos establecidos para la correcta ejecución del diseño y con los lineamientos planteados en la investigación. Esto garantiza que la intervención propuesta permitirá mejorar efectivamente la condición operacional del tramo vial, asegurando un desempeño adecuado de la vía frente a las cargas proyectadas y prolongando su vida útil.

IV. RECOMENDACIONES

En el caso de realizar un diseño de pavimento a través del método AASHTO 93 siempre es recomendable el seguir el manual del mismo, para que de esa manera el diseño al necesitar diferentes estudios no se vea perjudicado al momento de realizar el cálculo del diseño, teniendo en cuenta que de esa manera se va a poder tener un mayor índice de confiabilidad para el diseño.

Para poder llevar a cabo un buen estudio de tráfico IMDS se tiene que contar con una estación de conteo con una ubicación ideal, siendo que de esa manera se va a poder obtener una información y cálculo más detallado sobre el flujo vehicular que tiene la ruta a analizar, teniendo en cuenta que con el cálculo del IMDS se va a poder calcular lo que es IMDA y posteriormente también se podrá realizar una proyección del flujo vehicular que tendrá la vía en el año.

Es recomendable que se realice el estudio CBR para poder calcular de una manera más precisa el cálculo para el diseño del pavimento flexible para que de esa manera no se sobre calcule los parámetros que se requieran para que el diseño de pavimento flexible sea lo más exacto posible.

Se considera necesario que la ruta de estudio cuente con una proyección de mejora para poder mejorar la condición operacional, siendo que, al ser una vía utilizada para poder transportar mercadería, maquinaria que tiene como destino utilizarse en el sector agrícola, se debe tener una mejor transitabilidad para que de esa manera también se pueda mejorar la calidad de vida que tienen los habitantes de las zonas aledañas o que colindan con la ruta de estudio.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

Agradezco a mi familia por siempre apoyarme incondicionalmente y guiarme a través de toda mi carrera para que pueda cumplir mis objetivos a pesar de las adversidades, a nuestros asesores, que nos guiaron con paciencia y respeto a través de todo el transcurso de la ejecución de nuestra tesis.

Dedico este trabajo con todo mi corazón a mi familia, por ser siempre mi soporte incondicional, por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Su amor, paciencia y enseñanzas han sido el motor que me ha impulsado en cada paso

REFERENCES

- [1] A. Seyed, L. Michele, K. Emin and B. Husai. "AASHTO 1993 Plus: an alternative procedure for the calculation of structural asphalt layer coefficients". 2022
- [2] C. Jongkwon, Z. Jarrod and B. Oguzhan. "Assessment of shear capacity of prestressed concrete members with insufficient web reinforcement using AASHTO LRFD general shear design method". Engineering Structures,
- [3] E. Perez, J. Heredia Y J. Pascal. Revisiting the Drainage Coefficient of the AASHTO93: A Method for Improving Local Flexible Pavements Design. Journal of Civil Engineering and Construction. Vol 13, No. 3. 2024. DOI: <https://doi.org/10.32732/jcec.2024.13.3.97>
- [4] F. Forghani. Comparison of Conventional and Advanced Pavement Design Methods with Ontario Case Studies. UWSpace: Home [en línea]. 14 de diciembre de 2020. <https://uwspace.uwaterloo.ca/items/036eb64f-c612-4a11-9fe4-aed99ae3ed93>
- [5] G. Mamani , S. De La Cruz Vega Y C. Vega Neyra. Estabilización de la subrasante con ceniza de quinua y cal en la Carretera Lago Sagrado, Puno, Perú. Sistema de Información Científica Redalyc, Red de Revistas Científicas [en línea]. 26 de diciembre de 2022. <https://www.redalyc.org/journal/4782/478276305004/> [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CR.1943-5495.0000262](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CR.1943-5495.0000262)
- [6] J. Choi, J. Zaborac Y O. Bayrak. Assessment of shear capacity of prestressed concrete members with insufficient web reinforcement using AASHTO LRFD general shear design method. Engineering Structures, Volume 242, 1 September 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112530>
- [7] M. Castro, L. Castro Y P. Castro. Aplicación práctica del método AASHTO-93 para el diseño de pavimento rígido. Pol. Con. (Edición núm. 49) Vol. 5, No 09. (En línea). 2020. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/1717>
- [8] O. Maadani, M. Shafiee & I. Egorov. Climate Change Challenges for Flexible Pavement in Canada: An Overview. Publication: Journal of Cold Regions Engineering. Volume 35, Issue 4
- [9] S. Abdollahi, M. Lanotte, E. Kutay Y H. Bahia. AASHTO 1993 Plus: an alternative procedure for the calculation of structural asphalt layer coefficients. [En línea]. 2022. <https://doi.org/10.1080/10298436.2022.2118273>
- [10] Z. Hassan, M. Zalnezhad, A. Mohammad & H. Zalnezhad. Performance analysis of coloured microsurfacing with electric arc furnace steel slag as an aggregate replacement: a laboratory evaluation. [En línea]. 2023. International Journal of Pavement Engineering. <https://doi.org/10.1080/10298436.2023.2276173>