



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**Monografía**

**“EVALUACIÓN DE LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO RECICLADO  
EN EL TRAMO DE CARRETERA LA CURVA-NUEVA GUINEA DEL KM 234  
AL KM 237 MEDIANTE EL USO DE DEFLECTOMETRO DE IMPACTO, EN EL  
MUNICIPIO DE NUEVA GUINEA, RACCS, 2021”**

Para optar al título de Ingeniero Civil

**Elaborado por:**

Br. Kelly Gabriela Gámez Vega

Br. Cynthia Ramírez Cruz

**Tutor:**

Msc. Ing. Gioconda Isabel Juárez Romero

Managua, Febrero 2022



## **Dedicatoria**

Con mucho cariño:

A Dios por brindarme la vida, la paciencia y sabiduría para culminar mis estudios.

A mis padres que siempre me brindan su apoyo y me alientan a seguir adelante, a pesar de todos los problemas económicos que hemos tenido los últimos años siempre me han dado su apoyo y nunca me ha faltado nada.

A todas aquellas personas que se vieron involucradas de una u otra manera en la elaboración de este trabajo.

**Br. Kelly Gabriela Gámez Vega**

Con mucho amor:

En primer lugar, a Dios todopoderoso, por permitirme llegar hasta este momento tan importante en mi vida, y proveerme de sabiduría, entendimiento y fortaleza.

A mis padres Joaquin Ramírez Aviles y Jilma María Cruz Gámez, quienes me brindaron su apoyo incondicional a lo largo de mi formación académica y que han sido un ejemplo de superación, gracias por estar presentes.

A mis amigos, y a los docentes que día a día aportaron de su conocimiento para llegar a ser una excelente profesional.

**Br. Cynthia Ramírez Cruz**

## **Agradecimiento**

A Dios nuestro padre todo poderoso, por guiarnos y brindarnos sabiduría a lo largo de nuestra vida, por llenarnos con sus dones y siempre bendecirnos en nuestro día a día

A mi madre, quién ha sido el mayor pilar en mi vida, a lo largo de mi vida el amor de mi mamá me ha ayudado a salir adelante y me ha hecho sentir segura, quién toda la vida ha dado lo mejor de sí por mí y quién me inspira a ser mejor persona.

A mi padre, quien día a día me ayudó en mi educación desde que inicié mi vida estudiantil, su apoyo tanto económico como moral han sido los que me han ayudado a crecer en mi día a día.

A nuestra tutora, Gioconda Isabel Juárez, por su gran apoyo a lo largo del desarrollo de nuestra monografía, gracias a sus aportes y correcciones hemos logrado la culminación de nuestra monografía.

Al Ingeniero, German Ahmed Cruz Ramirez, quién desde el inicio nos brindó toda la información necesaria para nuestro trabajo y siempre tuvo disponibilidad cada vez que lo necesitamos.

A mi abuela, quién me ayudó cuando lo necesité, casi al culminar mi carrera.

A mis hermanas, quienes por verme como ejemplo siempre me motivaron a seguir adelante y buscar ser mejor en mis tareas.

**Br. Kelly Gabriela Gámez Vega**

## **Agradecimiento**

Agradezco primeramente a Dios por haberme iluminado y darme la oportunidad de culminar exitosamente el plan de estudio universitario.

A mis padres Joaquin Ramírez Aviles y Jilma María Cruz Gámez por haberme apoyado incondicionalmente a lo largo de mi carrera profesional.

A la Ing. Gioconda Juárez por su dedicación como tutor, facilitando la asesoría técnica necesaria para poder lograr la terminación del documento monográfico.

Al Fondo de Mantenimiento Vial, por su ayuda técnica y material en la obtención de los datos.

Finalmente, sin ser menos importante, le agradezco al Ing. German Ahmed Cruz Ramírez, por brindar su sabiduría, conocimiento y apoyo incondicional en nuestro proceso de realización de la Monografía.

**Br. Cynthia Ramirez Cruz**

## **RESUMEN EJECUTIVO**

En el siguiente documento monográfico se presenta la evaluación de la vida remanente del pavimento reciclado en el tramo de la carretera la Curva- Nueva Guinea del km 234 al km 237, mediante el uso del deflectómetro de impacto en el municipio de Nueva Guinea, RACCS, 2021

### **Estructura de Contenido**

- I. Aspectos Generales
  - II. Resistencia De Pavimento
  - III. Aforo Vehicular
  - IV. Factores De Carga Equivalente
  - V. Capacidad Y Vida Remanente
- Conclusiones
- Recomendaciones

### **CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES**

En este capítulo se abordaron las generalidades del proyecto, macro y micro localización del tramo en estudio, introducción, antecedentes, justificación sobre la vida remanente del tramo La Curva Nueva Guinea km 234 al km 237 y objetivos planteados en base a parámetros de estudio, determinando la resistencia del pavimento mediante el análisis de parámetros estructurales, Tránsito Promedio Diario Anual y factores de carga equivalente, para lograr el cálculo de su vida útil mediante el uso del método AASHTO 93.

### **CAPITULO II. RESISTENCIA DEL PAVIMENTO**

Se inicia el capítulo con conceptos claves como lo es; pavimento flexible, mecánica del pavimento, refiriéndonos a esfuerzos, deformaciones y deflexiones, así mismo, se define el pavimento reciclado y los estudios para determinar el ajuste de diseño de la mezcla. Una vez concluidos los conceptos se procedió a

realizar los cálculos de las pruebas de deflexión en base a las mediciones obtenidos por el deflectómetro de impacto, para analizar la resistencia del pavimento en el tramo.

### **CAPITULO III. AFORO VEHICULAR**

El aforo vehicular se realizó durante 3 días consecutivos sobre la vía, durante 12 horas diurnas, se obtuvo el Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA) de 1404 vehículos por día. Se analiza la condición de tránsito actual y se realiza proyecciones a futuro, siendo necesarias para el cálculo de ESAL's y determinar la vida útil del pavimento.

### **CAPITULO IV. FACTORES DE CARGA EQUIVALENTE**

Se describen conceptos como los tipos de eje, la servicialidad y el factor equivalente de daño o carga, al final del capítulo en base a las proyecciones calculadas en el capítulo 3 se estableció el cálculo de los ESAL's haciendo uso de los Factores de Carga Equivalente proporcionados por Báscula de Lóvago, relacionandolo con el número acumulado de ejes simples en el capítulo 5.

### **CAPITULO V. CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y VIDA REMANENTE**

Hay muchos métodos para la determinación del retrocálculo, en la monografía se utilizó el método estático, basado en la Técnica de iteración, haciendo uso del software, de nombre Dipav 2.3, el cual resuelve varias ecuaciones, entre estas, módulo resiliente y módulo efectivo de pavimento. A partir de los ESAL'S calculados en el capítulo 4, se logra completar todos los datos necesarios para utilizar el software AASHTO 93, proporcionando el número de años que puede durar el tramo, esta vida útil estimada es en base a las condiciones dadas.

## **CONCLUSIONES**

Para el cálculo de la vida remanente, se hicieron proyecciones de tránsito vehicular de 15 años, cálculo de ESAL's tomando en cuenta dichas proyecciones y los Factores de Carga Equivalente proporcionados por la Báscula de Lóvago, por otro lado, se hizo uso de dos softwares de nombre Dipav 2.3 el cual realizó diferentes iteraciones para determinar los módulos elásticos del pavimento y AASHTO 93, establece el número acumulado de ejes simples equivalentes, al finalizar éstos cálculos, se hace una comparación del resultado de AASHTO 93 respecto a los ESAL's para determinar la vida útil del pavimento respecto a las condiciones actuales.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda el uso del Deflectómetro de Impacto ya que es un método no destructivo, rápido y económico, el cual permite evaluar objetivamente in situ, tanto el soporte de la subrasante como la resistencia del pavimento.

## Glosario

### A

**AASHTO** Acrónimo de American Association of State Highways and Transit Officials. es un órgano que establece normas, publica especificaciones y hace pruebas de protocolos y guías usadas en el diseño y construcción de autopistas en todo los Estados Unidos. A pesar de su nombre, la asociación representa no sólo a las carreteras, sino también al transporte por aire, ferrocarril, agua y transporte público

### B

**Bacheo:** Método que consiste en reparar con mezcla asfáltica, desintegraciones (huecos), deformaciones o agrietamientos severos en el pavimento.

**Base:** Es la capa de espesor diseñado, constituyente de la estructura del pavimento destinada fundamentalmente a distribuir y transmitir las cargas originadas por el tránsito a las capas subyacentes y sobre la cual se coloca la carpeta de rodadura.

### C

**Calicatas:** son una de las técnicas de prospección empleadas para facilitar el reconocimiento geotécnico, estudios edafológicos o pedológicos de un terreno. Son excavaciones de profundidad pequeña a media, realizadas normalmente con pala retroexcavadora.

**Compactación:** La compactación es el procedimiento de aplicar energía al suelo suelto para eliminar espacios vacíos, aumentando así su densidad y en consecuencia, su capacidad de soporte y estabilidad entre otras propiedades.

**Curado:** es un proceso que busca mantener en el concreto una temperatura y un contenido de humedad adecuados durante los primeros días después del vaciado, para que se puedan desarrollar en las propiedades deseadas.

## D

**Deflectómetro:** de impacto: es un equipo utilizado para la evaluación del estado estructural de firmes flexibles, semirrígidos y rígidos. El operador controla todas las funciones del deflectómetro desde el ordenador que se instala en el vehículo remolcador (en caso de ser con remolque).

**Dosificación:** La idea de dosificación también alude al uso de las proporciones apropiadas para realizar una mezcla

## E

**Emulsión de asfalto:** se define como la combinación de tres componentes principales: asfalto, agua y una cantidad específica de un agente emulsificante, que permite la mezcla de dos sustancias que por su naturaleza química no podrían mantenerse combinadas después de ser mezcladas.

## F

**FOMAV:** Fondo de Mantenimiento Vial, es un ente autónomo del Estado, con personalidad jurídica, patrimonio propio, duración indefinida y plena capacidad para adquirir derechos y contraer obligaciones.

## M

**Módulo de resiliencia:** es la energía de deformación por unidad de volumen que se requiere para deformar un material hasta su límite elástico. Resiliencia por unidad de volumen. Se mide en Julios por Unidad de Volumen (Julios por metros cúbicos en el Sistema Internacional). Luego veremos más detalladamente el módulo de resiliencia.

## N

**NDT (Non destructive test):** Se denomina ensayo no destructivo a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales.

## P

**Pavimento:** Es una capa o conjunto de capas de materiales seleccionados, comprendidos entre la subrasante y la superficie de rodamiento o rasante.

**Pluviometría:** Estudio y tratamiento de los datos de precipitación que se obtienen en los pluviómetros ubicados a lo largo y ancho del territorio, obteniendo así unos datos de gran interés para las zonas agrícolas y regulación de las cuencas fluviales a fin de evitar inundaciones por exceso de lluvia.

**Proyecto:** La sección específica de la carretera, camino, calle o puente, junto con todas las obras que serán construidas

## R

**Recubrimiento:** también conocido como revestimiento, es una capa que se aplica a un objeto al que se le llama sustrato y que es parte de una construcción, paredes, vigas, techos, láminas y otras superficies de un proyecto son susceptibles a llevar recubrimientos.

## S

**Subrasante:** Capa de terreno de una carretera, que soporta la estructura del pavimento y que se extiende hasta una profundidad en que no le afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto

## T

**Tránsito:** Circulación de personas y vehículos por calles, carreteras.

## INDICE DE CONTENIDO

<b>CAPITULO I: ASPESTOS GENERALES .....</b>	<b>1</b>
1.1 Introducción.....	1
1.2 Antecedentes .....	2
1.3 Información general del sitio.....	3
1.4 Justificación.....	5
1.5 Objetivos .....	6
1.5.1 Objetivo General .....	6
1.5.2 Objetivos Específicos.....	6
<b>CAPITULO II. RESISTENCIA DEL PAVIMENTO .....</b>	<b>7</b>
2.1 Definición de pavimento .....	7
2.1.1 Descripción .....	7
2.1.2 Tipos de pavimento.....	7
2.1.2.1 Pavimento rígido.....	7
2.1.2.2 Pavimento Flexible .....	7
2.1.3 Mecánica de pavimento .....	8
2.1.3.1 Esfuerzo.....	8
2.1.3.2 Deformación .....	8
2.1.3.3 Deflexión.....	8
2.2 Pavimento reciclado.....	9
2.2.1 Definición .....	9
2.2.2 Ventajas del reciclado de pavimento.....	9
2.2.3 Emulsiones Asfálticas .....	10
2.2.3.1 Definición.....	10
2.2.3.2 Componentes de Emulsiones Asfálticas.....	11

2.2.3.3 Clasificación de emulsiones asfálticas.....	13
2.2.3.4 Aplicación de Emulsión.....	16
2.2.3.5 Ventajas de Emulsiones .....	18
2.2.4 Pavimento Reciclado en el proyecto La Curva-Nueva Guinea .....	19
2.2.4.1. Condiciones previas a la ejecución.....	19
2.2.4.2. Formulación del diseño de pavimento realizado por el FOMAV ..	20
2.3 Metodología de evaluación estructural de pavimento flexibles .....	26
2.3.1 Métodos destructivos .....	27
2.3.2 Método no destructivos .....	27
2.3.2.1 Equipos para medir deflexiones.....	27
2.3.2.2 Pruebas de Deflexión .....	29
<b>CAPITULO III: ESTUDIO DE TRÁNSITO.....</b>	<b>50</b>
3.1 Estudio de tránsito.....	50
3.1.1 Tipología Vehicular .....	50
3.1.2 Tipos de Tránsito .....	53
3.1.2.1 Tránsito actual (Ta).....	53
3.1.2.2 Tránsito futuro (Tf) .....	53
3.1.3 Volumen de tránsito .....	54
3.2 Clasificación Funcional.....	55
3.3 Tránsito Promedio Diario Anual.....	58
3.3.1 Definición .....	58
3.3.2 Factores para cálculo de TPDA .....	58
3.3.2.1 Clasificación de estaciones por las categorías de vectores.....	58
3.3.2.2 Factor para cálculo de TPDA.....	60
3.3.3 Desarrollo del Cálculo de TPDA .....	63

3.3.4 Composición vehicular del TPDA.....	66
3.3.5 TPDA histórico en el tramo de estudio.....	67
3.4 Proyecciones de tránsito futuro.....	68
3.4.1 Tasa de Crecimiento.....	68
3.4.1.1 Determinación de Tasa de Crecimiento.....	68
3.4.1.2 Correlación TPDA vs PIB.....	70
3.4.1.3 Correlación TPDA vs POB.....	72
3.4.2 Tránsito proyectado.....	73
<b>CAPITULO IV: FACTORES DE CARGA EQUIVALENTE.....</b>	<b>75</b>
4.1 Tipos de eje.....	75
4.1.1 Eje Simple.....	75
4.1.2 Ejes Tándem:.....	76
4.1.3 Ejes Trídem.....	76
4.2 Criterio para determinar Serviciabilidad.....	79
4.2.1 Servicapacidad inicial ( $\rho_0$ ).....	79
4.2.2 Servicapacidad Final ( $\rho_t$ ).....	79
4.3 Factor Equivalente de Daño o Carga (FEC).....	80
4.4 Ejes Equivalentes (ESAL'S).....	85
<b>CAPITULO V: CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y VIDA REMANENTE.....</b>	<b>86</b>
5.1 Retro cálculo método AASHTO.....	86
5.2 Vida Remanente del Pavimento.....	90
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>98</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>99</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXO.....</b>	<b>I</b>

## INDICE DE TABLA

Tabla N° 1. Obras de bacheo superficial en el tramo La Curva-Nueva Guinea del 2015-2020 .....	2
Tabla N° 2. Tipos de Emulsión .....	16
Tabla N° 3. Aplicaciones para cada tipo de emulsión asfáltica .....	17
Tabla N° 4. Área de intervención por tratamiento superficial.....	20
Tabla N° 5. Propiedades físicas de la base triturada propuesta .....	23
Tabla N° 6. Combinación de diseño RAP+Ajuste .....	24
Tabla N° 7. Resultados de resistencia.....	26
Tabla N° 8. Rango de condiciones estructurales según el tipo de pavimento ....	30
Tabla N° 9. Rangos de condiciones estructurales respecto a los rangos de Factor Forma .....	35
Tabla N° 10. Clasificación de Resistencia .....	46
Tabla N° 11. Ejemplo de relación de $AN900$ y $D_{m\acute{a}x}$ .....	47
Tabla N° 12. Relación Área de cuenco y Deflexión máxima .....	47
Tabla N° 13. Resumen de resultado de parámetros estructurales .....	49
Tabla N° 14. Tipología Vehicular .....	52
Tabla N° 15. Clasificación Funcional de carretera La Curva-Nueva Guinea .....	57
Tabla N° 16. Estación de Mayor Cobertura correspondiente a la Curva-Nueva Guinea.....	59
Tabla N° 17. Ubicación del tramo en estudio en Estación de Mayor Cobertura .	60
Tabla N° 18. Factores del primer cuatrimestre del año 2020 (Enero-Abril) de la EMC 1802, San Marcos-Masatepe.....	62
Tabla N° 19. Porcentaje vehicular de Estaciones de Mayor Cobertura .....	67
Tabla N° 20. Registro Histórico del TPDA (ECD 7101), PIB y Crecimiento Poblacional.....	69
Tabla N° 21. Transformaciones Logarítmicas ( $Ln$ ) de los Registros Históricos ..	70
Tabla N° 22. Tasa de Crecimiento para las variables.....	74
Tabla N° 23. Pesos Máximos permisibles por tipo de vehículos .....	78
Tabla N° 24. Espesores de la estructura de pavimento.....	88
Tabla N° 25. Períodos de diseño.....	91

Tabla N° 26. Nivel de Confiabilidad por Clasificación Funcional .....	92
Tabla N° 27. Valores de Zr en función de la confiabilidad R .....	93
Tabla N° 28. Resumen de Resultados .....	94
Tabla N° 29. Factor Distribución por Carril .....	96
Tabla N° 30. ESAL'S acumulado por año proyectado .....	97
Tabla N° 31. Resultados recopilados por el Deflectómetro de Impacto Est- 234+000-236+975. ....	IV
Tabla N° 32. Deflexiones Corregidas por Carga y Temperatura .....	IX
Tabla N° 33. Resultados de Pruebas de Deflexión.....	XIV
Tabla N° 34. Total de vehículos contados en ambos sentidos el día Martes 23 de Marzo,2021.....	XX
Tabla N° 35. Total de vehículos contados en ambos sentidos el día Miércoles 24 de Marzo,2021.....	XXI
Tabla N° 36. Total de vehículos contados en ambos sentidos el día Jueves 25 de Marzo, 2021.....	XXII
Tabla N° 37. Aplicación de Factores de Ajuste para el cálculo de TPDA .....	XXIII
Tabla N° 38. Serie Histórica de Conteo Vehicular desde 2007-2020 .....	XXIV
Tabla N° 39. Proyección de Transito .....	XXV
Tabla N° 40. Análisis estadístico de la carga de un camión C2.....	XXVII
Tabla N° 41. Análisis estadístico de la carga de un camión C3.....	XXVIII
Tabla N° 42. Análisis estadístico de la carga de un camión T3S2.....	XXIX
Tabla N° 43. Análisis estadístico de la carga de un camión T3S3.....	XXX
Tabla N° 44. Factores Equivalentes de Carga.....	XXXI
Tabla N° 45. Proyección de Ejes Equivalentes (ESAL'S).....	XXXII
Tabla N° 46. Resultado de Retrocalculo.....	XXXIV

## INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Nueva Guinea-Nicaragua .....	3
Figura N° 2. Tramo en estudio: La Curva-Nueva Guinea km 234- km 237 .....	4
Figura N° 3. Diagrama de una emulsión asfáltica.....	11
Figura N° 4. Representación esquemática de una emulsión aniónica y una catiónica .....	14
Figura N° 5. Realizar bacheo superficial .....	19
Figura N° 6. Reparar por Tratamiento superficial .....	19
Figura N° 7. Ensayo de premezclado .....	25
Figura N° 8. Ensayo de Adherencia .....	25
Figura N° 9. Viga Benkelman y utilización en sitio.....	28
Figura N° 10. Deflectómetro de Impacto .....	29
Figura N° 11. Tablet con aplicación de conteo vehicular.....	63
Figura N° 12. Eje Simple .....	75
Figura N° 13. Eje Tándem .....	76
Figura N° 14. Eje Tridem .....	76
Figura N° 15. Camión C2 .....	82
Figura N° 16. Resultado de W18.....	95
Figura N° 17. Tramo La Curva Nueva Guinea km 234, RACCS, carretera actual en excelentes condiciones.....	I
Figura N° 18. Espesor Antes y Después de Estructura de Pavimento Flexible Est. 234+800 .....	I
Figura N° 19. Espesor Antes y Después de Estructura de Pavimento Flexible Est. 235+500 .....	II
Figura N° 20. Espesor Antes y Después de Estructura de Pavimento Flexible Est. 235+800 .....	II
Figura N° 21. Espesor Antes y Después de Estructura de Pavimento Flexible Est. 236+400 .....	III
Figura N° 22. Espesor Antes y Después de Estructura de Pavimento Flexible Est. 236+800 .....	III

## INDICE DE GRÁFICO

Gráfico N° 1. Dispersión D0 o Dmáx .....	31
Gráfico N° 2. Porcentaje D0 .....	31
Gráfico N° 3. Dispersión de BLI.....	36
Gráfico N° 4. Porcentajes del BLI.....	37
Gráfico N° 5. Dispersión de MLI .....	37
Gráfico N° 6. Porcentaje de MLI.....	38
Gráfico N° 7. Dispersión de LLI .....	38
Gráfico N° 8. Porcentaje de LLI.....	39
Gráfico N° 9. Dispersión de RD.....	40
Gráfico N° 10. Porcentajes de RD.....	40
Gráfico N° 11. Dispersión de F2.....	41
Gráfico N° 12. Porcentajes de F2.....	42
Gráfico N° 13. Dispersión en base a los datos obtenidos de RoC.....	43
Gráfico N° 14. Porcentajes de RoC.....	44
Gráfico N° 15. Dispersión de MRD.....	45
Gráfico N° 16. Porcentajes de MRD.....	45
Gráfico N° 17. Porcentajes de $A_N$ .....	48
Gráfico N° 18. Porcentaje de Composición Vehicular .....	66
Gráfico N° 19. Correlación TPDA vs PIB.....	71
Gráfico N° 20. Correlación Ln TPDA vs Ln PIB .....	71
Gráfico N° 21. Correlación TPDA vs POB.....	72
Gráfico N° 22. Correlación Ln TPDA vs Ln POB .....	72

# CAPITULO I

## ASPECTOS GENERALES



## **CAPITULO I: ASPESTOS GENERALES**

### **1.1 Introducción**

La edad de construcción de las carreteras es un elemento importante para cualquier evaluación, ya que el pavimento una vez cumplido el 75% de su vida útil pierde aceleradamente su calidad.

Según la última publicación de la Red Vial de Nicaragua por el ente rector de vialidad, Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) en el 2019, presenta una longitud total de 24,763 kms de carreteras de los cuales 2,492 kms (10%) son de asfalto, 1,576 kms (6%) de adoquín, 398 kms (2%) de concreto hidráulico y 20,297 kms (82%) corresponden a no pavimentados.

En la actualidad, la evaluación estructural de pavimentos, se enmarca en conceptos relacionados a la capacidad portante del suelo a nivel de subrasante para pavimentos existentes; a través de calicatas, se extraen muestras de suelo para ser analizadas en laboratorios, lo cual es un método destructivo. Sin embargo, a través de nuevas tecnologías, se aplican técnicas para ensayos de alto rendimiento, conocidas como pruebas no destructivas (Non-Destructive Test, NDT) con la cual se ha mejorado la auscultación de las vías. Entre estas técnicas se destaca la utilización del Deflectómetro de impacto (Heavy Weight Deflectometer, HWD), cuya función es la de analizar la condición estructural de los pavimentos mediante la interpretación de las deflexiones producidas bajo cargas dinámicas que simulan el efecto del tránsito, tal como se establece el capítulo 5.3 de AASHTO (1993), que aborda aspectos de la evaluación de pavimento para diseño de refuerzo.

En el presente estudio de monografía se presenta como principal guía de trabajo la AASHTO 93 para retro calcular la capacidad estructural del pavimento que serán utilizados para determinar la vida remanente del tramo en estudio La Curva-Nueva Guinea del km 234 al km 237, en el municipio de Nueva Guinea, Región Autónoma Costa Caribe Sur (RACCS).

## 1.2 Antecedentes

El Fondo de Mantenimiento Vial (FOMAV) tomó como criterio fundamental para el reciclado de pavimento, el historial de intervenciones en el tramo, entre el año 2015-2020 demostrado en la Tabla N° 1., en la que se observa que hubo un incremento de bacheos en una relación que prácticamente es de 1 a 10. En el 2015 se ejecutó un volumen de bacheo de 60.35 m<sup>3</sup> y en el año 2020 de 655.65 m<sup>3</sup>, lo anterior como respuesta al alto progreso de deterioro anual, principalmente debido al daño por humedad, ante las altas precipitación de la zona, ya que se sabe que el municipio de Nueva Guinea tiene una pluviometría promedio anual de 2560 mm<sup>3</sup>, con un mínimo de 2270 y un máximo de 3080 mm<sup>3</sup>.

**Tabla N° 1. Obras de bacheo superficial en el tramo La Curva-Nueva Guinea del 2015-2020**

Actividades	U.M	Cantidad						Total
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Bacheo superficial de pavimentos bituminosos en frio	M3	60.35	147.00	386.87	737.00	568.48	655.65	2,555.35

Fuente: Base estadística del FOMAV, 2020

Las estadísticas registradas anualmente, facilitaron al FOMAV (encargado del mantenimiento del tramo en estudio) identificar la necesidad de la ejecución del proyecto, se intervino el tramo más afectado, el cual es del km 234 al km 237, siendo 3 kilómetros intervenidos, utilizando un nuevo método, el que consiste en reutilizar el pavimento que había en ese tramo, agregándole cierto porcentaje de emulsión, para recuperar sus propiedades, a éste, se le hacen pruebas de Deflectometría para poder determinar la resistencia del pavimento y calcular la vida remante, siendo esta última el interés de esta monografía.

Las consideraciones que el FOMAV utilizó para el reciclado con emulsión en la base estabilizada fue la tendencia futura de tránsito, alto nivel de precipitación características del Caribe, suelo de subrasante, además de evitar rigidizar la base del pavimento.

### 1.3 Información general del sitio

#### 1.3.1 Macro localización

Figura N° 1. Nueva Guinea-Nicaragua



Fuente: <https://www.google.com/> 11 o 41' latitud norte y 84 o 27' longitud oeste

El municipio de Nueva Guinea se encuentra ubicado en la parte noroeste de la Región Autónoma Costa Caribe Sur. Limita al norte con los municipios Muelle de los Bueyes y El Rama; al sur con los municipios de San Carlos, El Castillo y Bluefields; al este con el municipio de El Rama y Bluefields y al oeste con los municipios de El Almendro, Villa Sandino y San Miguelito. La extensión territorial es de 2,774 kilómetros cuadrados y el clima de la denominación genérica de selva tropical, la precipitación promedio anual es de 2,560 milímetros cúbicos, siendo la precipitación mensual de 203.6 milímetros.

La población de Nueva Guinea es de 93,964 habitantes aproximadamente con una densidad poblacional de 35.09 habitantes por kilómetros cuadrados. La distancia de este municipio a la Capital de 292 kilómetros. La actividad económica predominante en el municipio es el sector agropecuario, teniendo mayor impacto el sector agrícola.

### 1.3.2 Micro localización

**Figura N° 2. Tramo en estudio: La Curva-Nueva Guinea km 234- km 237**



<https://www.google.com/>11 o 41' latitud norte y 84 o 27' longitud oeste

Fuente: Elaboración propia, por medio de Google Maps, colocando las coordenadas de inicio (751411.00 Este 1320851.00 Norte) y final (753934.00 E, 1319460.00 N)

El proyecto de mejora en el tramo La Curva Nueva Guinea, se encuentra ubicado en la frontera entre el departamento de Chontales y la Región Autónoma Costa Caribe Sur. La aplicación de la emulsión de asfalto inicia desde el km 234 y concluye en el km 237.

El tramo limita al norte con el caserío San Emilio, al sur con el municipio El Coral, al este con Comarca Quebrada Grande y al oeste con Comarca Rancho Alegre.

## 1.4 Justificación

Se ejecutó un proyecto de mantenimiento periódico en la carretera ubicada en el tramo La Curva-Nueva Guinea del km 234 hasta el km 237 (**Ver en Anexo, Figura 17, p, I**), que consistió en un reciclado de pavimento, concluida su ejecución en el mes de junio del 2020. Esta ejecución se consideró debido a que era una vía altamente deteriorada, se presentó la necesidad de hacer una intervención con ciertos materiales que presentan propiedades que serán retrocalculadas.

En la región Atlántica se tomó como prueba el reciclado con emulsión de asfalto en el tramo La Curva km 234 – km 237 para ver si es una opción de sistema constructivo de carretera favorable con respecto a factores económicos y vida remanente. Actualmente se cuenta con el uso del Deflectómetro para realizar estudios de evaluación estructural al paso de los años, teniendo como ventaja principal, que es un procedimiento rápido, confiable, preciso y no destructiva.

A partir de los espesores y los módulos de cada capa existente determinada con las cargas aplicadas por el Deflectómetro y empleando la mecánica de materiales, se determinará las tensiones, las deformaciones y los desplazamientos representados por la deflexión, la presente monografía mostrará la influencia directa de los factores que afectan a la deflexión y con ello calcular la vida remanente que podría tener el tramo en estudio de esta forma se conocerá la eficiencia del uso de la emulsión de asfalto en las carreteras del Caribe del país.

De acuerdo al ciclo del proyecto, la propuesta de monografía corresponde a uno de los elementos a considerar en una evaluación ex post en proyectos viales. En el proyecto de monografía se analizarán diferentes variables que determinan la vida remanente del proyecto, que con respecto a las etapas de preinversión e inversión pueden sufrir variaciones, por otra parte, en la evaluación de pos construcción se determinaran propiedades de los materiales producto de estudios de Deflectometría en la que se analizará la respuesta del pavimento para inferir propiedades mecánicas que determinen el comportamiento estructural y vida remanente del proyecto.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo General**

- Evaluar la vida remanente del pavimento reciclado en el tramo de carretera La Curva-Nueva Guinea del km 234 al km 237 mediante el uso de Deflectómetro de impacto, en el municipio de Nueva Guinea, Región Autónoma Costa Caribe Sur, 2021.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar la estructura de pavimento a partir del análisis de los parámetros estructurales, basados en los cuencos de deflexiones para la denotación de la resistencia del pavimento.
- Calcular la demanda de tránsito en función de las medidas de aforos vehiculares, para la proyección futura.
- Analizar los factores de carga equivalentes de daño al pavimento basado en los registros de peso de la báscula de Lóvago, para la estimación del daño acumulado en el tiempo.
- Determinar la capacidad estructural del pavimento mediante la metodología de retrocálculo, aplicando el manual de la AASHTO 93, necesario para la obtención de la capacidad estructural y vida remanente del tramo.

# CAPITULO II

## RESISTENCIA DEL PAVIMENTO



## **CAPITULO II. RESISTENCIA DEL PAVIMENTO**

### **2.1 Definición de pavimento**

#### **2.1.1 Descripción**

Loria L. y Leiva P. (2014) mencionan que el pavimento es: “Estructura compuesta por diferentes materiales, que se colocan en espesores definidos y bajo condiciones de drenaje apropiadas, de manera que su diseño provea una base de apoyo, así las cargas de tránsito sean transmitidas a la subrasante de forma amortiguada”. (p.39)

#### **2.1.2 Tipos de pavimento**

Según AASHTO (1993), actualmente se cuenta con una gran variedad de pavimentos que, atendiendo los criterios tradicionales, básicamente pueden clasificarse en: rígidos y flexibles. A continuación, se presenta en que consiste cada uno de ellos. (p.25)

##### **2.1.2.1 Pavimento rígido**

En estos pavimentos, la superficie de rodamiento es proporcionadas por losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presentan un armado de acero por su mayor rigidez distribuyen las capas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las losas adyacentes que trabajan en conjunto con la que recibe directamente la carga.

##### **2.1.2.2 Pavimento Flexible**

El pavimento flexible, también es llamado pavimento asfáltico, está conformado por una carpeta asfáltica en la superficie de rodamiento. El pavimento flexible resulta más económico en su construcción inicial, tiene un período de vida de entre 10 y 15 años, pero tiene la desventaja de requerir mantenimiento periódico para cumplir con su vida útil.

### **2.1.3 Mecánica de pavimento**

Los esfuerzos, las deformaciones y las deflexiones se pueden determinar en cualquier punto del modelo estructural, pero en el caso del diseño de las estructuras de pavimentos interesan algunos puntos en especial para poder realizar los estudios y análisis correspondientes para controlar la fatiga, el ahuellamiento o deformación y la deflexión de los pavimentos.

#### **2.1.3.1 Esfuerzo**

El estudio de los esfuerzos que en los pavimentos son provocados por el tránsito vehicular se centra en determinar la intensidad de las fuerzas componentes de las cargas que se generan de forma interna en el pavimento y la distribución de estas; es decir, el estudio de los esfuerzos se centraliza en la relación entre la fuerza que se aplica y la superficie sobre la cual se aplica.

#### **2.1.3.2 Deformación**

AASHTO (1993) señala que:

Las deformaciones son una medida del grado de distorsión que las cargas externas o acciones externas generan sobre la geometría de un cuerpo cualquiera. Además, con base en la mecánica de materiales, existe una relación directa entre las deformaciones y los esfuerzos, por lo que es importante su medida y estimación en el diseño de todo de tipo de estructuras.

#### **2.1.3.3 Deflexión**

La deflexión, en forma general, es el grado de desplazamiento de un cuerpo o elemento estructural por efecto de la aplicación de una fuerza. En ese sentido, es posible que se haga referencia a la deflexión que experimentan los pavimentos como producto de las cargas a los que se ven sometidos.

Las deflexiones son un factor de gran importancia a la hora de calcular los parámetros de las deformaciones elásticas que se producen en los pavimentos y

está en función de que se trate de pavimentos rígidos como para pavimentos flexibles. Esto es debido a las cargas ejercidas sobre los pavimentos; a esto se le denomina conjunto de deflexiones, los cuales se generan en el espacio que se produce entre el punto que se usa la fuerza y alrededor del pavimento.

## **2.2 Pavimento reciclado**

### **2.2.1 Definición**

El reciclado, es una nueva alternativa técnica de rehabilitación de pavimentos, que consiste en la reutilización de los materiales en servicio, los que han perdido en gran parte sus propiedades iniciales y cuyas características se desean mejorar.

AASHTO (1993) indica que: “En una rehabilitación, los materiales a utilizar pueden ser de fuentes nuevas (vírgenes), por reciclaje o la combinación de ambos pueden ser el factor principal para decidir el uso de reciclaje”. (p.185)

### **2.2.2 Ventajas del reciclado de pavimento**

Para una rehabilitación, el reciclaje de un pavimento existente, ofrece los siguientes beneficios:

- a. Posibilita la mejora estructural del pavimento existente.
- b. Facilita la eliminación de grietas reflejas.
- c. Reduce los costos de reconstrucciones y obras de refuerzo estructural.
- d. Produce un efecto de conservación de las fuentes de materiales viales, de energía y de menor utilización de los caminos para el transporte de materiales viales.
- e. Posee un menor grado de impacto ambiental.

## **2.2.3 Emulsiones Asfálticas**

### **2.2.3.1 Definición**

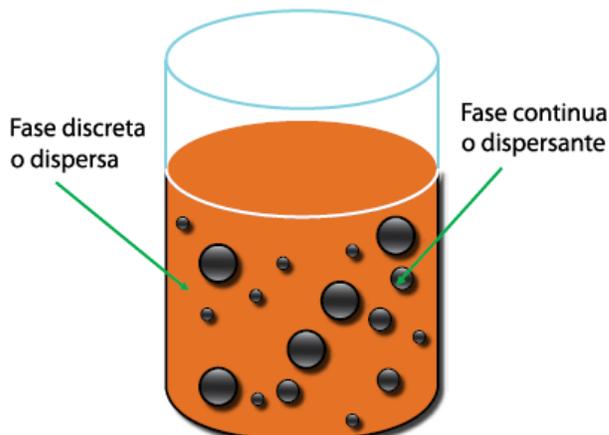
Desde el siglo XX hasta el día de hoy, las emulsiones asfálticas son utilizadas en todo el mundo, de igual manera ofrece gran variedad de métodos para la conservación y construcción de pavimentos.

El Manual Básico de Emulsiones Asfálticas (2001) define que la emulsión es:

La combinación de tres componentes principales: asfalto, agua y una cantidad específica de un agente emulsificante, que permite la mezcla de dos sustancias que por su naturaleza química no podrían mantenerse combinadas después de ser mezcladas. El emulsificante, evita o retrasa la separación del asfalto y el agua, manteniendo estable dicha combinación en un tiempo determinado. En algunas ocasiones, las emulsiones asfálticas pueden contener otros aditivos como estabilizadores, mejoradores de recubrimiento, mejoradores de adherencia o agentes de control de rompimiento. (p.16)

Las emulsiones asfálticas se componen de un medio disperso (fase jabonosa o acuosa) en la que se mantienen separadas las partículas de asfalto o la fase dispersante, tal como se muestra en la Figura N° 3.

**Figura N° 3. Diagrama de una emulsión asfáltica**



Fuente:

[https://www.google.com/search?q=Diagrama+de+emulsion+asfaltica&rlz=1C1CHZL\\_esNI726NI726&sxsrf=AOaemvJRfbt2xPE30xp3v21bVHNRoY32sA:1640642966200&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjOgtCp\\_4T1AhXiSjABHfqwDNEQ\\_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=657&dpr=1#imgrc=lswwk\\_4LlwJuVM](https://www.google.com/search?q=Diagrama+de+emulsion+asfaltica&rlz=1C1CHZL_esNI726NI726&sxsrf=AOaemvJRfbt2xPE30xp3v21bVHNRoY32sA:1640642966200&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjOgtCp_4T1AhXiSjABHfqwDNEQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=657&dpr=1#imgrc=lswwk_4LlwJuVM)

### **2.2.3.2 Componentes de Emulsiones Asfálticas**

Las emulsiones asfálticas están constituidas en dos partes que comprenden los tres ingredientes principales, como lo son el asfalto, agua y agente emulsivo:

#### **a. Cemento asfáltico**

Es un ingrediente básico de una emulsión. “Constituye entre un 50 y 75% de la emulsión. Si bien la dureza de la base de cemento asfáltico puede variar, la mayoría de las emulsiones es hecha con asfaltos con un rango de penetraciones entre 60 a 250” (Asphalt Institute, 2001, p.18).

Las condiciones climáticas pueden determinar el uso de un asfalto base más blando o más duro. De cualquier manera, la compatibilidad química entre el agente emulsivo y el cemento asfáltico es fundamental para la elaboración de una emulsión estable.

El asfalto es un coloide ya que es una sustancia que, al encontrarse con un líquido, se dispersa poco a poco. Está compuesto de varias fracciones, siendo las principales los asfaltenos (fase dispersa) y los maltenos (fase continua), este

último, significa que es una fracción soluble en hidrocarburos saturados de bajo punto de ebullición, además, la naturaleza química de los maltenos regula en gran parte las propiedades químicas de los asfaltos. Los asfaltenos son compuestos químicos orgánicos del petróleo crudo y representan los compuestos más pesados y, por tanto, los de mayor punto de ebullición.

### **b. Agua**

Ciertos minerales y algunos químicos en el agua utilizada durante la elaboración de las emulsiones, pueden afectar la estabilidad y las condiciones de almacenamiento de la emulsión asfáltica. La presencia de iones de calcio y magnesio en el agua retrasan el rompimiento de los enlaces catiónicos en emulsiones con carga positiva, contrariamente, cuando se presentan carbonatos o partículas en suspensión, se produce una pérdida de estabilidad en la emulsión debido a un prematuro rompimiento.

El Manual Básico de Emulsiones Asfálticas (2001) indica que: “Frecuentemente se adiciona cloruro de calcio a las emulsiones catiónicas, con el objetivo de aumentar la estabilidad durante el almacenamiento”. (p.8)

### **c. Agentes emulsivos**

El Manual Básico de Emulsiones Asfálticas (2001), indica la importancia de los agentes químicos utilizados como emulsivos:

El emulsivo es un agente tenso activo o surfactante. El agente emulsivo mantiene las gotitas de asfalto en suspensión estable y controla el tiempo de rotura. Es también el factor determinante en la clasificación de las emulsiones como aniónicas, catiónicas o no iónicas. (p.8)

Los agentes emulsivos aniónicos más comunes son los ácidos grasos, que son productos derivados de madera, como aceites (resinas, ligninas, etc). Los emulsivos aniónicos son saponificados (convertidos en jabón) al reaccionar con hidróxido de sodio o hidróxido de potasio.

Los agentes emulsivos catiónicos, en su mayoría, son aminas grasas, estas producen a partir de ácidos grasos de coco, sebo, palma y tal oil. Las aminas se convierten en jabón al reaccionar con un ácido, usualmente ácido clorhídrico.

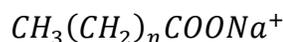
### 2.2.3.3 Clasificación de emulsiones asfálticas

#### a. Según Carga Eléctrica

Las emulsiones asfálticas se pueden distribuir en tres categorías, como lo menciona Asphalt Institute (2001): “Según su carga eléctrica: aniónicas, catiónicas o neutras”.

##### ○ Aniónicas

El grupo polar electrovalente (un enlace iónico) de hidrocarburos es parte del ion cargado negativamente (Ver Figura N° 4), cuando el compuesto se ioniza:



##### ○ Catiónicas

El grupo polar y electrovalente de hidrocarburos es parte del ion cargado positivamente (Ver Figura N° 4) cuando el compuesto se ioniza:

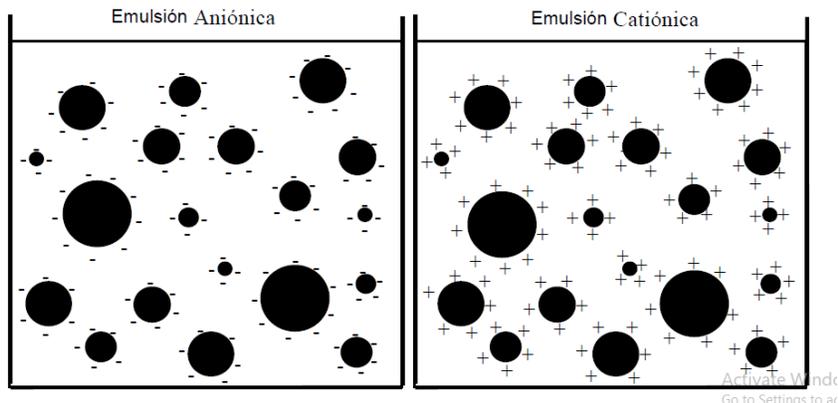


##### ○ No iónicas

El grupo de hidrófilo es covalente y polar, además las partículas de asfalto son neutras y se disuelve con ionización:



**Figura N° 4. Representación esquemática de una emulsión aniónica y una catiónica**



Fuente: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, 2001, p.27

Las emulsiones aniónicas y catiónicas son usualmente las más utilizadas en la construcción y mantenimiento de carreteras; a diferencia de las neutras que aún son poco conocidas y que requieren mayores avances tecnológicos para ser usadas.

#### **b. Según la Velocidad de Coalición**

Una segunda clasificación de las emulsiones se basa en la velocidad con que las gotitas de asfalto coleasen, esto es, se juntan restaurando el volumen de cemento asfáltico.

En el Manual Básico de Emulsiones Asfálticas (2001, p.16), se determina que los términos, que a continuación se muestran, han sido adoptados para simplificar y normalizar esta clasificación:

- **RS (Rapid-setting), emulsiones de rompimiento rápido.**

Estas se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos (con excepción de la emulsión conocida como ECR-60), la cual no se debe utilizar en la elaboración de estas últimas. Además, una emulsión RS tiene poca o ninguna capacidad para mezclarse con agregados.

- **MS (Medium-setting), emulsiones de rompimiento medio.**

Estas normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos es menor o igual al 2%, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobre carpetas. Estas emulsiones pueden mezclarse con agregados gruesos y no se mezcla con agregados finos.

- **SS (Slow-setting): emulsiones de rompimiento lento.**

Estas se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas y pueden ser mezcladas con agregados finos.

- **QS (Quick-setting): emulsiones de rompimiento controlado.**

Se diseñan especialmente para aplicaciones de lechadas asfálticas en las que se necesita un tiempo rápido de curado. Estas emulsiones pueden mezclarse con agregados finos y esta rotura se manifiesta más rápido que la SS.

La tendencia a coalescer está íntimamente relacionada con la rapidez con que la emulsión se vuelve inestable y rompe tras entrar en contacto con la superficie del agregado.

En el Manual Básico de Emulsión Asfáltica (2001) se menciona que:

Las Emulsiones se identifican con una serie de números y letras que aluden a la viscosidad de las emulsiones y a la consistencia de la base de cemento asfáltico. La letra “C”, encabezando el tipo de emulsión, identifica a una emulsión asfáltica catiónica, por ejemplo, una CRS significa que es una emulsión catiónica de rompimiento rápido; mientras que la ausencia de alguna letra enfrente de dicha nomenclatura indica una emulsión aniónica. Si se asigna un número posterior a la nomenclatura hará referencia a la viscosidad de la emulsión; por lo que una CSS-2 será más viscosa que una CSS-1. Por otro lado, si se adiciona una “h” o una “s” seguido de este número indicará la dureza del asfalto utilizado, “h” para un asfalto con cierto grado de dureza y “s” para un asfalto suave. Las letras “HF” que preceden

a algunos de los grados de emulsiones aniónicas indican alta flotación (high float), medida con el ensayo de flotación. (p. 19)

Finalmente, si se incluye la letra “L”, “S” o “P” al final de toda la nomenclatura indicará que la emulsión contiene algún aditivo o polímero, el cual suele ser látex.

ASTM y AASHTO han desarrollado especificaciones normalizadas para estos grados de emulsión, como se puede apreciar en la Tabla N° 2 que se muestra a continuación.

**Tabla N° 2. Tipos de Emulsión**

<b>Emulsión Asfáltica (ASTM D977, AASHTO M140)</b>	<b>Emulsión Asfáltica Catiónica (ASTM D2397, AASHTO M208)</b>
RS-1	CRS-1
RS-2	CRS-2
HFRS-2	
MS-1	
MS-2	CMS-2
MS-2h	CMS-2h
HFMS-1	
HFMS-2	
HFMS-2h	
SS-1	CSS-1
SS-1h	CSS-1h

Fuente: Asphalt Institute, 2001, p.17

#### **2.2.3.4 Aplicación de Emulsión**

En el Manual Básico de Emulsiones Asfálticas (2001) menciona que: “Una última clasificación de las emulsiones asfálticas es de acuerdo con su aplicación como una técnica para la conservación de una carretera o como parte de la construcción de un pavimento”. (p.20).

En la Tabla N° 3 se expone las diferentes aplicaciones para cada tipo de emulsión asfáltica.

**Tabla N° 3. Aplicaciones para cada tipo de emulsión asfáltica**

Tipo de emulsión Aplicación	Aniónica			Catiónica			
	RS	MS	SS	CRS	CMS	CSS	COS
Riegos de emulsión							
Tratamientos superficiales (TS)	x			x			
Sellos de niebla		x	x		x	x	x
Riego de liga		x	x	x	x	x	
Riego de imprimación		x	x			x	
Lechadas asfálticas							
Sellos de lechada asfáltica		x	x			x	x
Microcapas (modificada con polímero)						x	
Combinación de TS + Sellos de lechada asfáltica	x			x			
Mezcla en planta							
Granulometría abierta/semi-densa		x			x		
Granulometría densa		x	x			x	x
Reciclado en caliente (RAP)		x				x	x
Bacheo		x				x	
Mezcla en sitio							
Reciclado en frío (RAP)		x			x	x	x
Estabilización de bases			x				x
Granulometría densa			x			x	x
Bacheo		x			x		

Fuente: Manual Básico de Emulsiones Asfálticas, 2001, p. 18

### 2.2.3.5 Ventajas de Emulsiones

Gilio R. et al (2017) mencionan las ventajas que presenta el uso de las emulsiones en los pavimentos asfálticos:

- Su manejo es sencillo y seguro, gracias a su baja viscosidad a temperatura ambiente.
- Para la preparación de las Emulsiones Asfálticas se requiere poca energía, únicamente para diluir el betún asfáltico que alimentará el molino coloidal.
- Al sustituir los fluidificantes por agua, se economiza el costo de los derivados de petróleo, con la consiguiente conservación de la energía, durante el proceso de la producción de la emulsión, debido a que no se requiere elevar la temperatura de sus componentes.
- Es un ligante asfáltico no contaminante ni peligroso, ya que contiene del 35 al 40% de agua como solvente.
- Tiene un límite de almacenamiento y es muy amplio, ya que puede ser almacenado por semanas o meses, debido entre otras cosas a la igualdad de las densidades de sus componentes.
- Se emplean materiales pétreos locales, lo que elimina la transportación de este tipo de materiales por grandes distancias.
- Por su aplicación en frío, ayuda a no alterar el medio ambiente y queda suprimida la emisión de humos o gases.
- Evita los riesgos de incendio y explosión.
- Permiten dosificaciones más exactas del ligante.
- Se evitan problemas de sobrecalentamiento.

## **2.2.4 Pavimento Reciclado en el proyecto La Curva-Nueva Guinea**

### **2.2.4.1. Condiciones previas a la ejecución**

Tal como se indicó en Antecedentes, el pavimento ha sido previamente intervenido en múltiples ocasiones por el FOMAV, las principales reparaciones corresponden a: Bacheos y Tratamiento Superficiales. En las Figura N° 5 y Figura N° 6 se presentan los daños característicos que presentaba el pavimento en esta zona.

#### **Figura N° 5. Realizar bacheo superficial**



Fuente: Diseño de Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica,2020, p. 6

Como es mencionado previamente en Antecedentes, el volumen de bacheo superficial desde el año 2015 hasta el 2020, tuvo un incremento de 6 veces el 100%, denotando que se requería una intervención.

#### **Figura N° 6. Reparar por Tratamiento superficial**



Fuente: Diseño de Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica,2020, p. 6

Como es presentado a continuación en la Tabla N° 4, el área total aplicada a la carretera durante los 5 años que fueron evaluados por el FOMAV para tomar la decisión de intervenir el tramo fue de 63,806.6 m<sup>2</sup>.

**Tabla N° 4. Área de intervención por tratamiento superficial**

Actividades	U.m	Cantidad						Total
		2015	2016	2017	2018	2019	2020	
Tratamiento superficial simple	M2	28,806.56	35,000.00	0.0	0.0	0.0	0.0	63,806.6

Fuente: Base estadística del FOMAV, 2020

#### **2.2.4.2. Formulación del diseño de pavimento realizado por el FOMAV**

Según la formulación del diseño de pavimento realizado por el FOMAV tomando en cuenta los estudios de Soluciones Viales, la estructura de pavimento a evaluar en esta monografía, de la cual se denotará la capacidad estructural y posteriormente la vida remanente, está constituida por tres capas con los siguientes espesores representativos: Carpeta de rodamiento: 4 cm, Base Granular: 15 cm y Sub base granular: 20 cm. **(Ver Anexo, Figura 18-22, p.I-III)**

Soluciones Viales (2020) en su informe mencionan:

El diseño de la base estabilizada con emulsión se dividió en dos etapas: la primera consistió en levantamiento de principales daños visibles, fresado de la carpeta existente para simular el proceso de reciclado en frío, extracción de muestras de las capas de pavimento existente y la medición de espesores de capas, estas mediante el uso de calicatas. En cambio, la segunda etapa se desarrolló en el laboratorio, entre los cuales destacan la caracterización de los materiales recuperados para determinar secciones homogéneas y con esta información realizar las dosificaciones (cemento + emulsión) para alcanzar las resistencias solicitadas. (p.6)

La construcción de la base estabilizada de pavimento en el tramo La Curva-Nueva Guinea, del km 234 al km 237, fue por medio del ajuste de diseño de la mezcla: RAP (Pavimento Asfáltico Reciclado) + Aporte (Base Triturada) + Cemento

Portland + Emulsión Asfáltica CSS 1, esta última corresponde al tipo catiónica de ruptura lenta, el objetivo de este tipo de emulsión es que exista tiempo para procesar los materiales y adecuada homogenización en el proceso.

Para la dosificación, se tomó en cuenta el contenido de asfalto residual de estudios previos, debido a que las fórmulas que corresponden para calcular el contenido de asfalto, dadas en métodos de diseño, como en el Instituto de Asfalto, fueron desarrollados para materiales propios de los sitios donde se calibraron y no aplican a la realidad de Nicaragua.

Soluciones Viales S.A (2020), se realizó: “Un cálculo de las proporciones adecuadas de RAP, material de ajuste, cemento Portland y emulsión asfáltica para lograr que la mezcla alcance una resistencia a la compresión simple no confinada de 2.0 Mpa y que la resistencia retenida después de 24 horas sea al menos 75%.”

Durante el procedimiento de diseño se analizaron las características de la mezcla en cuanto a su trabajabilidad, recubrimiento, adhesión, susceptibilidad a la humedad y resistencia.

A continuación, se describen los procedimientos y resultados obtenidos en el laboratorio, estos datos son basados del documento de nombre Diseño de Base Estabilizada.

#### **a. Materiales propuestos**

Estos materiales descritos posteriormente, se utilizaron para la realización del ajuste de diseño de la mezcla previamente mencionados.

##### **o Emulsión Asfáltica**

La Emulsión que se utilizó en el diseño de la mezcla fue un tipo CSS-1 producida por la empresa Asfaltos Industriales S.A (ASFISA), la cual está constituida por 60% de Asfalto Residual y 40% de Agua.

- **RAP (Pavimento Asfáltico Reciclado)**

“Consiste en la recuperación de 15 cm del pavimento asfáltico existente, con el fin de recuperar todo el espesor de la carpeta y parte de la base existente”. (Beltrán G. 2012, p.9)

La graduación del RAP cumplió con las especificaciones técnicas del proyecto, sin embargo, según estudios realizados por el FOMAV deducen que tuvo una deficiencia de material grueso, por esta razón, se decidió combinarlo con un material de ajuste que generara fricción interna en la capa que se construyó y resistiera a las deformaciones permanentes.

- **Material de Ajuste (Base Granular)**

Soluciones Viales (2001) indica los ensayos que aplicaron al material de ajuste para definir si cumplía con las especificaciones adecuadas:

Se incorporó a la mezcla, material triturado de Tamaño Máximo 25.0 mm. Para poder conocer las propiedades físicas del material, pasó por diferentes pruebas en el laboratorio como lo son: Desgaste de Máquina de los Ángeles (AASHTO T96), Pérdidas en ensayo de cinco ciclos en sulfato de sodio (AASHTO T104), Partículas Planas y Alargadas (ASTM D4791) y Relación Soporte de California CBR (AASHTO T193), los resultados presentados en Tabla N°5, destacan que el material de ajuste es apto para poder trabajar, ya que cumple con las especificaciones exigidas por el proyecto. (p.9)

En la Tabla N°5 se presentan los resultados obtenidos en los diferentes ensayos realizados al material triturado de Tamaño Máximo 25.0 mm para conocer las propiedades físicas de la base triturada propuesta.

**Tabla N° 5. Propiedades físicas de la base triturada propuesta**

<b>Descripción</b>	<b>Método</b>	<b>Resultado</b>	<b>Especificación</b>
Desgaste en la Máquina de los Ángeles	AASHTO T 96	28%	Máx. 40%
Perdidas en ensayo de cinco ciclos en sulfato de sodio	AASHTO T 104	1.50%	Máx. 18%
Índice de Plasticidad (IP)	ASTM D 4318	NP	NP
Equivalente de Arena (menor a 4.75 mm)	AASHTO T 176	65%	Mín. 30%
Terrones de arcillas y partículas deleznable		0%	Máx. 2%
Partículas Planas y Alargadas (relación 5:1)	ASTM D 4791	0.70%	Máx. 10%
Contenido de caras fracturadas en el agregado grueso	ASTM D 5821	95/90	50/-
Relación Soporte de California (CBR)	AASHTO T 193	150%	Mín. 80%

Fuente: Diseño de Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica, 2020, p.9

○ **Cemento Portland**

El cemento Portland utilizado para la realización del ajuste de diseño de la mezcla propuesta por el FOMAV fue de la marca CANAL, con el objetivo de incrementar la resistencia a la compresión simple no confinada y para garantizar la resistencia retenida luego del ensayo Inmersión – Compresión”. (p.9).

**b. Combinación de RAP y Ajuste**

Para establecer la granulometría de diseño se inició el análisis de la granulometría individual de los tres agregados propuestos.

En base a la distribución de tamaño de partículas para cada fracción de agregados (RAP y Base), y atendiendo las observaciones del FOMAV se propone para este caso una combinación de 90% de RAP+10% de Base. En Tabla N° 6 se presentan los resultados obtenidos en el Laboratorio.

**Tabla N° 6. Combinación de diseño RAP+Ajuste**

ASTM E11		90	10	100	Esp. Técnicas	
Pulg	mm	RAP	Base D	Combinación	Mínima	Máxima
1 1/2	37.5	100	100	100	100	100
1	25	99	98	99	75	100
3/4	19	98	80	96	65	100
1/2	12.5	88	58	85	-	-
3/8	9.5	78	48	75	-	-
N°4	4.75	56	32	54	30	60
N°8	2.36	39	22	37	-	-
N°10	2	36	20	34	20	45
N°30	0.6	19	11	18	-	-
N°40	0.425	15	9	14	10	30
N°200	0.075	8	4	7.6	5	20

Fuente: Diseño de Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica, 2020, p. 10

### **c. Cálculo de contenido de cemento portland**

El cemento que se recomienda en este diseño es de tipo GU (uso general), la dosificación propuesta es de 1.5%, respecto al peso de la mezcla, y con este contenido se garantiza el cumplimiento de la resistencia a la compresión simple y además con la resistencia retenida.

### **d. Cálculo de contenido de agua de premezclado (Recubrimiento) y Adherencia**

Soluciones Viales (2020), expresan como fueron evaluadas ciertas muestras en los ensayos expresados a continuación.

#### **o Premezclado**

Se preparan en laboratorio cuatro muestras de mezcla que contenían 90% de RAP + 10% de Base + 1.5 Cemento Portland, la primera muestra se pre humedeció con 1.5 % de agua, y las siguientes con incrementos de 1.0% respecto a la anterior hasta llegar a 4.5% en la última muestra, a todas las mezclas pre humedecidas se le adicionó 4.5% de emulsión y se sometieron a un proceso de secado en horno a 40°C, posterior al proceso de secado se realizó una inspección visual para

determinar el nivel de recubrimiento de las partículas de los agregados (Ver Figura N° 7). Los resultados del laboratorio indican que el contenido de humedad que deben tener los materiales, in situ, previo a la aplicación de la emulsión asfáltica debe ser de 4.5%.

### Figura N° 7. Ensayo de premezclado



Fuente: Diseño de Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica,2020, p. 11

#### o Adherencia

Se seleccionó una muestra de 100 gramos de la mezcla homogenizada con el contenido óptimo de agua presentado en el ensayo de premezclado y someterla a un procedimiento de agitado en agua a 100 °C y verificar que no exista desnudamiento de las partículas recubiertas con asfalto residual. Los resultados en el laboratorio indican que la emulsión asfáltica y los agregados son compatibles (Ver Figura N° 8)

### Figura N° 8. Ensayo de Adherencia



Fuente: Diseño de Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica,2020, p. 11

#### e. Cálculo de contenido óptimo de fluido total

La densidad máxima se alcanza con el contenido óptimo de Flujo Total (Optimum Total Fluid Content, OTFC), que es la combinación del agua de compactación y la

emulsión asfáltica en la mezcla. El FOMAV determinó mezclar con 2.7% de asfalto residual.

De esta figura se concluye que la densidad seca máxima de la mezcla es 2,228 kg/m<sup>3</sup> y este valor se alcanza con un OTFC igual a 9.5%.

**f. Resistencia a compresión simple y resistencia retenida**

En la Tabla N° 7 se presentan los resultados la resistencia a la compresión simple no confinada y resistencia retenida, para los diferentes contenidos de asfalto residual dosificados.

**Tabla N° 7. Resultados de resistencia**

Asfalto Residual (%)	Emulsión (%)	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Resistencia a la compresión de grupo seco MPa	Resistencia a la compresión de grupo condicionado MPa	Resistencia Retenida (%)
2.2	3.7	2,258	1.9	1.5	80
2.7	4.5	2,228	2.3	1.8	78

Fuente: Diseño de Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica, 2020, p. 12

El procedimiento de curado de los especímenes se efectuó al ambiente por 4 días. Este método es más conservador respecto a un curado en horno a 40 °C por 72 horas. El condicionamiento de los especímenes consistió en saturación total en agua por periodo de 24 horas. (Soluciones Viales, 2020, p.12)

**2.3 Metodología de evaluación estructural de pavimento flexibles**

En general, las pruebas de campo se caracterizan en dos áreas: Pruebas no destructivas (Nondestructive testing, NDT) y pruebas destructivas (Destructive testing).

### **2.3.1 Métodos destructivos**

Requieren remoción física del material encontrado en la capa de pavimento para obtener el muestreo. Esta prueba tiene varias desventajas y limitaciones, particularmente cuando se refiere al sistema de carretera altamente traficada. Las restricciones prácticas en términos de tiempo y dinero, limita severamente el número y variables de las pruebas destructivas condicionándose a los estudios rutinarios de rehabilitación. (AASHTO, 1993, p. 223)

AASHTO (1993) menciona que:

Las pruebas destructivas juegan un rol vital en el muestreo de campo y sus pruebas. El uso limitado de las pruebas destructivas es para verificar y modificar las propiedades del material estimado para la NDT o los datos históricos. Incluso, estas pruebas pueden ser usadas para determinar las condiciones de drenaje. (p. 227)

### **2.3.2 Método no destructivos**

AASHTO (1993) indica: “Las pruebas no destructivas, no necesitan disturbios físicos del pavimento y como resultado, es preferido para procesos de rehabilitación”. (p.223)

#### **2.3.2.1 Equipos para medir deflexiones**

##### **a. Viga Benkelman**

Mecacisa (2016), destaca varios aspectos de la viga Benkelman:

- Fabricada en aleación de aluminio, completa con comparadores y diversos accesorios.
- Se utiliza para medir la deflexión de la superficie de una carretera, provocada por el paso de las ruedas de los vehículos.
- La viga se pone entre los neumáticos del vehículo y en contacto con el pavimento a ensayar.

- La medida de la deformación se realiza cuando el vehículo pasa sobre el área de ensayo.
- La longitud de esta viga es de 250 cm.
- La relación de medidas entre los extremos y el punto de apoyo es de 4:1.
- Se suministra completa con una caja portátil de madera.
- Peso: 16 kg

**Figura N° 9. Viga Benkelman y utilización en sitio**



Fuente:

[https://www.google.com/search?q=viga+benkelman&rlz=1C1CHZL\\_esNI726NI726&sxsrf=AOae\\_mvLeS3ULZljCHRn8f3nt\\_CrLFekfNw:1639370061847&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEWio78Ox-d\\_0AhWdRDABHeYUCQwQ\\_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=657&dpr=1](https://www.google.com/search?q=viga+benkelman&rlz=1C1CHZL_esNI726NI726&sxsrf=AOae_mvLeS3ULZljCHRn8f3nt_CrLFekfNw:1639370061847&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEWio78Ox-d_0AhWdRDABHeYUCQwQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1366&bih=657&dpr=1)

### **b. Dynatest Deflectómetro de peso descendente**

Dynatest (2021) menciona características de FWD de Dynatest:

Dynatest ofrece actualmente dos modelos de remolque FWD, el 8000 y el 8082. El 8000 aplica cargas de impacto máximo en el rango de 7 a 120 KN (1,500 a 27,000 lbf), mientras que el modelo 8082 (HWD) (Denominado "Deflectómetro de peso pesado") aplica cargas de impacto máximas en el

Rango de 30 a 320 KN (6,500 a 71,800 lbf). Los rendimientos de medición con el HWD van desde 200 a 300 puntos por día aproximadamente, dependiendo de los requisitos de control de tráfico y pruebas específicas.

**Figura N° 10. Deflectómetro de Impacto**



Fuente: Propia

### **2.3.2.2 Pruebas de Deflexión**

Para esta investigación se realizó una visita a campo con el apoyo del Fondo de Mantenimiento Vial para obtener deflexión con el Deflectómetro de impacto FWD, Primax 3500 presentado en la Figura 10, con el que se aplica una carga en el pavimento de 40 kN equivalente a la mitad del eje de carga de un camión estándar de 18 Toneladas.

La magnitud y forma de los desplazamientos verticales registrados en las pruebas de deflexión, se encuentran fuertemente asociados con las características de resistencia y rigidez de las capas y de sus espesores.

Beltrán M. y Romo G. (2012), señalan lo siguiente:

Las deflexiones medidas cerca del eje de carga se han asociado con la rigidez relativa de las capas superiores del pavimento; así mismo, las deflexiones en la parte media del cuenco reflejan la rigidez relativa de las capas intermedias, mientras que las deflexiones más alejadas del eje de carga se han relacionado con la rigidez de las capas inferiores. (p.2)

A continuación, se describen los indicadores evaluados en este trabajo:

**a. Deflexión Máxima (Dmáx o D0)**

La deflexión registrada en el sensor ubicado en el sitio de aplicación de la carga, es decir, en el plato de carga, corresponde al valor de Dmáx; describe cómo se comporta globalmente el pavimento ante una carga, pero no necesariamente refleja la resistencia individual de alguna de las capas. Bajo el mismo nivel de carga, los sistemas de pavimento débiles tendrán mayor Dmáx que aquellos sistemas fuertes.

Beltrán G. y Romo M. (2012) indican que: “Los valores de Dmáx superiores a 0.75 mm representan pavimentos débiles que poseen estructuras delgadas, deterioros o capas granulares expuestas a humedad”. (p.2). Además, también se menciona que los valores superiores 0.7 mm son indicadores de una posible deficiencia estructural, atribuida principalmente a subrasantes débiles.

En la siguiente tabla, se presentan los rangos establecidos para poder determinar las condiciones estructurales según el tipo de pavimento, la cual detalla los rangos de Dmáx o D0, RoC, BLI, MLI y LLI.

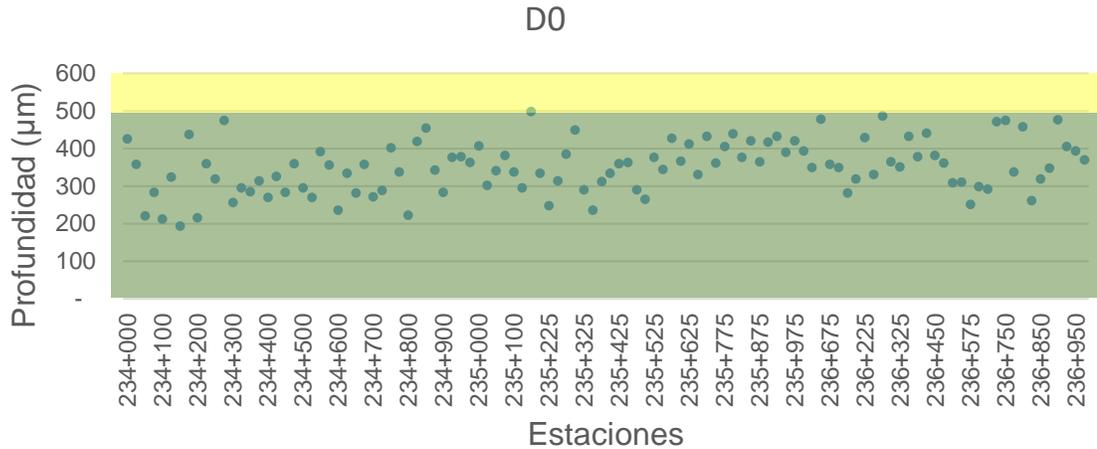
**Tabla N° 8. Rango de condiciones estructurales según el tipo de pavimento**

	Rango de la condición estructural	D0(µm)	RoC	BLI (µm)	MLI (µm)	LLI (µm)
Base granular	Adecuado	<500	>100	<200	<100	<50
	Riesgoso	500-750	50-100	200-400	100-200	50-100
	No adecuado	>750	<50	>400	>200	>100

Fuente: Beltrán y Romo, 2008, p.3.

Al evaluar el pavimento en el D0 o Dmáx, podemos observar mediante la siguiente gráfica, el comportamiento que tienen las medidas realizadas en las diferentes estaciones, por medio de una dispersión de las mismas.

### Gráfico N° 1. Dispersión D0 o Dmáx



Fuente: Elaboración propia.

Como puede ser visto en el Gráfico N°1, la mayoría de las medidas se encuentran en el rango caracterizado como adecuado, esto quiere decir que tienen un bajo porcentaje de tener deficiencia estructural. Posteriormente, al evaluar las condiciones del pavimento, se determinará si la subrasante es débil o no lo es, atribuyendo al resultado presentado en este ítem.

### Gráfico N° 2. Porcentaje D0



Fuente: Elaboración propia.

La Gráfica N°2 refuerza la información brindada por la gráfica de dispersión, presentando que el 100% de las medidas son adecuadas.

## b. Factores de forma

Los factores de forma son BLI (Base Layer Index), MLI (Medium Layer Index), LLI (Low Layer Index), mediante estos índices se intenta describir el comportamiento del pavimento, considerando la porción de la cuenca de deflexiones comprendida hasta una distancia de 900 mm del eje de carga. Donde el BLI refleja la rigidez de las capas superiores del pavimento, MLI representa la rigidez de la capa intermedia y LLI la deformación por compresión sobre dichas capas.

A continuación, se presentan las fórmulas a utilizar para el cálculo del BLI, MLI y LLI, extraídas del documento de Emile Horak, p.3:

$$BLI = D_0 - D_{300} \quad \text{Ec.1}$$

$$MLI = D_{300} - D_{600} \quad \text{Ec.2}$$

$$LLI = D_{600} - D_{900} \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

BLI=Índice de capa base

MLI=Índice de capa media

LLI=Índice de capa baja

$D_0$ = Deflexión máxima corregida.

$D_{300}$ = Deflexión corregida encontrada en el geófono a 300 mm del plato de carga.

$D_{600}$ = Deflexión corregida encontrada en el geófono a 600 mm del plato de carga.

$D_{900}$ = Deflexión corregida encontrada en el geófono a 900 mm del plato de carga.

En base a las medidas tomadas por el Deflectómetro de impacto, el día 11 de diciembre del 2020 (**Ver Anexo, Tabla 31, p. IV-VIII**), se utilizan las fórmulas previamente mencionadas para determinar los índices estructurales que se presentan en cada estación que se recopilaron los datos.

Es necesario mencionar, que las recolecciones de estos datos fueron hechas a cada 50 metros porque el tramo es de 3 km, por ende, todas las mediciones posteriores a la primera evaluación de la carretera se harían de esa manera, por otro lado, se debe de destacar que esto se hace en un sentido de la vía y del otro sentido se hace cada 25 metros, siendo este la mitad de 50, este es un procedimiento estandarizado para medición de deflexiones.

Es fundamental indicar que, para el cálculo de factores de forma, se hizo una corrección por temperatura y carga en el D0, o bien, en el punto donde cae el plato de carga debido a que es sensible a la temperatura, en los geófonos restantes, se hace únicamente corrección por carga ya que no se ven afectados por temperatura.

Reforzando la información anterior, AASHTO (1993), hace mención respecto al ajuste de temperatura: “D0 es dependiente de la temperatura de las capas de los suelos en el momento de las pruebas. Si S<sub>Neff</sub> será determinado por el Método No Destructivo, como referencia al ajuste de temperatura de D0 puede ser 68°F (20°C)”. (p.473)

AASHTO (1993), recomienda corregir temperatura a 20°C, pero esto se puede aplicar en países donde la temperatura es baja, debido a que Nicaragua es un país tropical, se encomienda corregir a 30°C.

La fórmula utilizada para la corrección por carga es la proporcionada por Federal Highway Research Administration and Technology (2016):

$$\frac{Q}{Fuerza Impacto} * Geofono \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

Q= Peso del plato de carga, 40 KN

Fuerza de Impacto= representa la fuerza de impacto que tuvo el plato de carga al tener contacto con el pavimento cumpliendo con su respectivo ciclo (KN)

Geófono= El valor registrado por el Deflectómetro de Impacto de cada geófono (mm)

Para corregir por temperatura se aplica la fórmula expuesta por Federal Highway Research Administration and Technology (2016):

$$TafDefl \left( \frac{defl_{36} + Delta_{36r}}{defl_{36} + Delta_{36m}} \right) \quad Ec. 5$$

Donde:

delf36= Medida de deflexión a 900 mm corregido por carga

Delta 36r= Temperatura de referencia

Delta 36m= Temperatura medida

Es menester mencionar que Delta 36, relaciona el espesor del pavimento y la latitud de referencia.

Teniendo esto en cuenta podemos decir que, en nuestro caso, Nicaragua es un país tropical, por ende, la temperatura a corregir es de 30°C, por otro lado, el espesor de pavimento es de 40 mm y la latitud que más se le parece a la temperatura del país, en este caso es Florida con 26°C.

Utilizando la información antes mencionada, se hacen las correcciones correspondientes a las medidas brindadas por el Deflectómetro de impacto el día 11 de diciembre en cada geófono (**Ver Anexo, Tabla 32, p. IX-XIII**), siendo un ejemplo el siguiente:

$$Geofono_{1234+000} = \left( \frac{40 \text{ KN}}{40.961 \text{ KN}} * 428 \text{ mm} \right) * TafDefl(30; 25.6; 40; 82; 26)$$

$$Geofono_{1234+000} = 425 \mu m$$

Al tener todos los resultados de los cálculos, podemos determinar los valores de los factores de forma, mediante las fórmulas ya brindadas con anterioridad, utilizando los valores corregidos por temperatura y carga según corresponda geófono (**Ver Anexo, Tabla 33, p. XIV-XIX**), como se muestra a continuación:

$$BLI_1 = 425 \mu m - 249 \mu m = 176 \mu m$$

$$MLI_1 = 249 \mu m - 82 \mu m = 167 \mu m$$

$$LLI_1 = 82 \mu m - 32 \mu m = 50 \mu m$$

Debido a los factores de forma BLI, MLI y LLI, es posible identificar la capa o capas que presenten deficiencias y cuales se encuentran entre los límites adecuados. De una muestra de 110 resultados, 83 de los resultados obtenidos en BLI son adecuados, lo que indica que la capa superior muestra una condición estructural óptima, por el contrario, en los datos del MLI solo 10 fueron adecuados, para mejorar estos resultados se necesitaría una reconstrucción en el tramo. En la capa inferior LLI se encuentra en excelente estado, brindando una base en buenas condiciones.

Cabe destacar que los límites que menciona Emile Horak (2008) en su revista, son ideales para carreteras con un flujo de tránsito alto, el tramo de la Curva Nueva Guinea no es una vía principal por ende el flujo vehicular es bajo. En la Tabla N° 9 podemos observar con claridad la evaluación respecto a los rangos de condiciones estructurales:

**Tabla N° 9. Rangos de condiciones estructurales respecto a los rangos de Factor Forma**

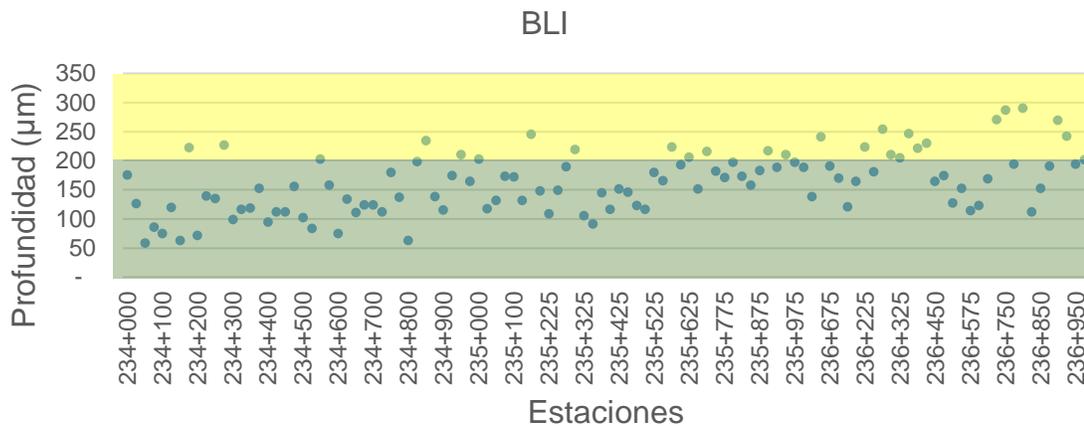
Rangos Factor Forma	Resultados	% Representa	Rango de Condiciones
BLI < 200	83	75	Adecuado
200 < BLI < 400	27	25	Riesgoso
BLI > 400	0	0	No Adecuado
MLI < 100	10	9	Adecuado
100 < MLI < 200	99	90	Riesgoso
MLI > 200	1	1	No Adecuado
LLI < 50	107	97	Adecuado
50 < LLI < 80	3	3	Riesgoso
LLI > 80	0	0	No Adecuado

Fuente: Elaboración propia.

En esta tabla, se muestra lo previamente descrito, sabiendo que el 75% de los resultados obtenidos para BLI son adecuados, el restante 25% están en condiciones de riesgo y 0% son no adecuados, de esta misma manera, se especifica en porcentaje cuantos resultados son adecuados, en riesgo o no adecuados en los diferentes factores de forma.

A continuación, en el Gráfico N° 3 se representa los resultados obtenidos de BLI.

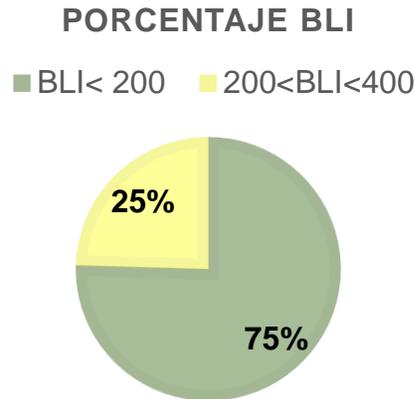
**Gráfico N° 3. Dispersión de BLI**



Fuente: Elaboración propia.

En esta grafica se demuestra el comportamiento que tiene la base superior en cada estación donde fue colocada el FWD. La diferencia de colores es debido a los rangos ya mencionados previamente, proporcionados por Emile Horak, los cuales según su rango representan: verde, la cantidad de datos adecuados y amarillo, los datos que representan riesgo.

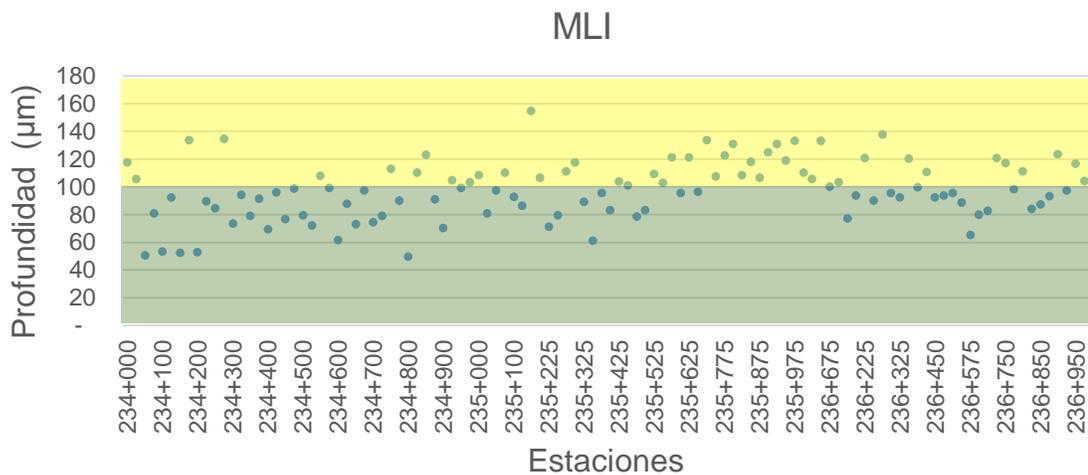
#### Gráfico N° 4. Porcentajes del BLI



Fuente: Elaboración propia.

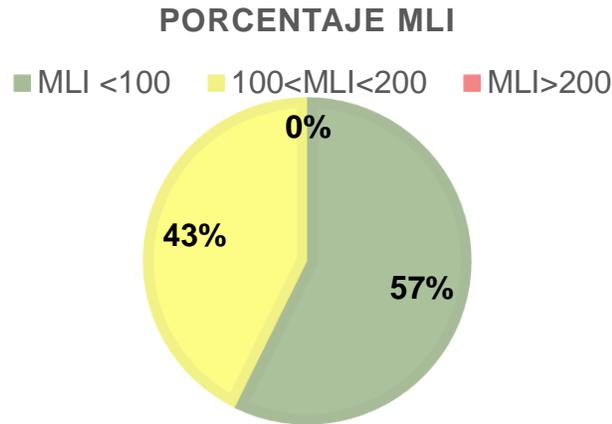
El Gráfico N° 4 indican las condiciones estructurales que se encuentran en la base superior de cada estación. Dando como resultado que el 75%, se encuentran en las condiciones adecuadas ya que cumplen con el rango especificado por Horak y el restante 25% está en condiciones de riesgo, sin embargo, siguen siendo aptas.

#### Gráfico N° 5. Dispersión de MLI



Fuente: Elaboración propia.

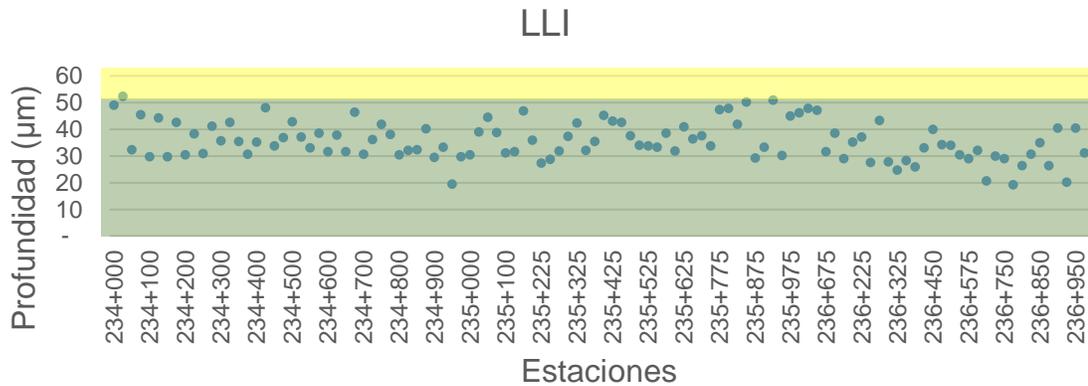
**Gráfico N° 6. Porcentaje de MLI**



Fuente: Elaboración propia.

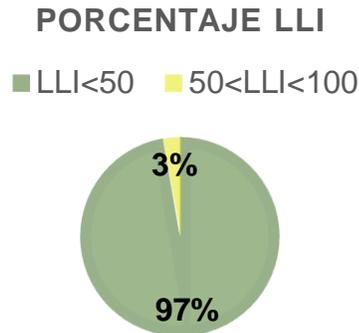
A como puede ser visto, en el Gráfico N° 5 y Gráfico N° 6 tanto en dispersión como el diagrama de pastel, es claro que la mayoría de los datos del MLI (capa intermedia), están en condiciones buenas, representando el 57% de los datos obtenidos, el restante 43% corresponden riesgoso.

**Gráfico N° 7. Dispersión de LLI**



Fuente: Elaboración propia.

## Gráfico N° 8. Porcentaje de LLI



Fuente: Elaboración propia.

Las gráficas anteriores expresan que la mayoría de los datos se encuentran en Buenas condiciones ya que destaca el color verde en las mismas, haciendo ver que la capa inferior presenta condiciones idóneas.

### c. Relación de deflexión

Según Beltrán G. y Romo M., indican que: “La relación de deflexión refleja la capacidad de las capas superiores respecto a la capacidad estructural total”. Se calcula con la siguiente fórmula:

$$RD = \frac{D_{300}}{D_{m\acute{a}x}} \quad \text{Ec.6}$$

Donde:

$RD$  = Relación de deflexión

$D_{300}$  = Deflexión corregida encontrada en el geófono a 300 mm del plato de carga

$D_{m\acute{a}x}$  = Deflexión máxima corregida.

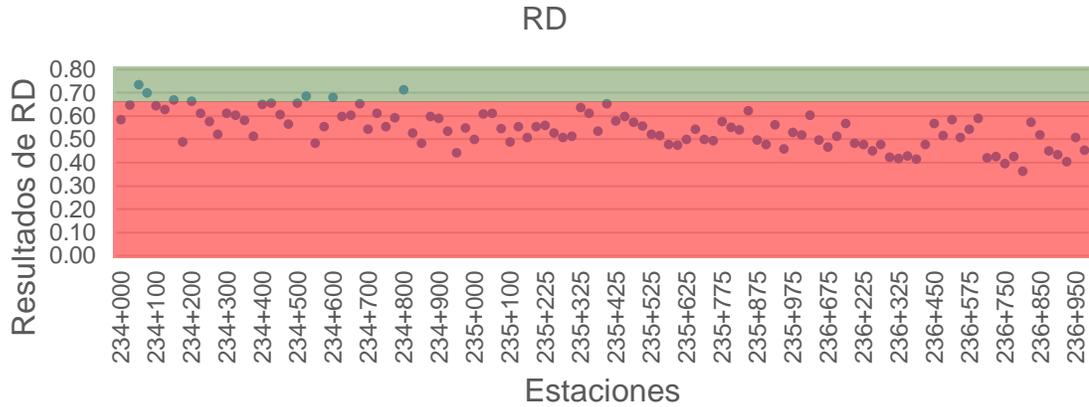
A continuación, se presenta un ejemplo de la aplicación de esta fórmula:

$$RD = \frac{249 \mu m}{425 \mu m} = 0.59$$

El rango deseable para  $RD$ , son:  $0.67 \leq RD \leq 1.0$ . Esto se indica en el documento de nombre Análisis de índices derivados de pruebas de deflexión por impacto para evaluación de pavimento. Para diferenciarse, utilizaremos color verde cuando los

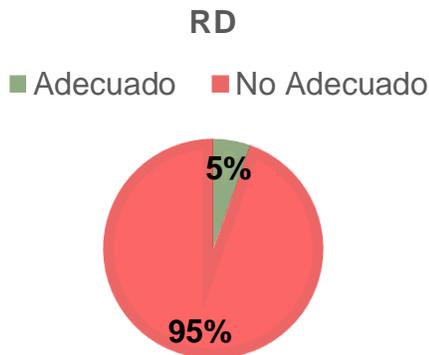
datos son adecuados y rojo para los no adecuados, a como se muestra a continuación en los Gráficos 9 y 10.

**Gráfico N° 9. Dispersión de RD**



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N° 10. Porcentajes de RD**



Fuente: Elaboración propia

Se concluye que la carretera sufriría muchas irregularidades debido a la diferencia entre las medidas del tercer geófono que se encuentra a 300 mm de distancia y a la  $D_{m\acute{a}x}$ , porque el 95% de la información recopilada, da resultado como no adecuado, representado por el color rojo en las gráficas de dispersión y diagrama de pastel.

#### d. Índice de Forma

El índice de forma se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$F_2 = \frac{D_{300} - D_{900}}{D_{300}} \quad \text{Ec.7}$$

Donde:

$F_2$  = Índice de Forma

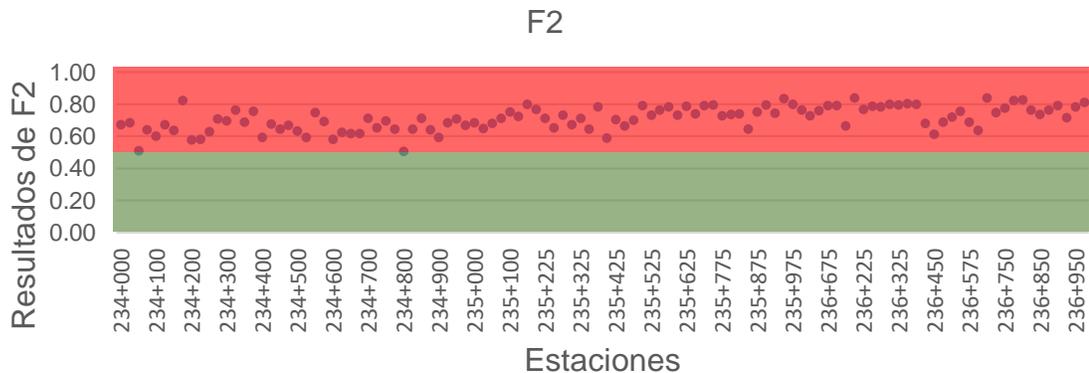
$D_{300}$  = Deflexión corregida encontrada en el geófono a 300 mm del plato de carga

$D_{900}$  = Deflexión corregida encontrada en el geófono a 900 mm del plato de carga

Dada por Beltrán G. y Romo M. (2012), en su respectivo documento investigativo, este índice, evalúa la rigidez relativa de las capas granulares. Para poder determinar si es adecuado o no adecuado, se debe de respetar cierto rango, siendo este:  $F_2 \leq 0.5$ . A continuación, se demuestran los cálculos de índice de forma para las primeras tres estaciones:

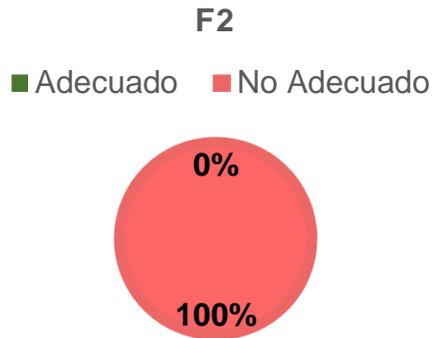
$$F_{2_1} = \frac{249 \mu\text{m} - 82 \mu\text{m}}{249 \mu\text{m}} = 0.67$$

#### Gráfico N° 11. Dispersión de F2



Fuente: Elaboración propia

## Gráfico N° 12. Porcentajes de F2



Fuente: Elaboración propia

Según los gráficos 11 y 12, presentados previamente, la rigidez relativa de las capas granulares es deficiente, esto ayuda a analizar las capas intermedias, confirmando lo obtenido en MLI (Índice de capa media), que la capa intermedia se encuentra en un estado muy deficiente, esto se debe a que la capa intermedia presenta alto porcentaje de riesgo, pero no es cuestión de alarma, ya que estos rangos son propios para carreteras con flujo vehicular pesado, en cambio el tramo en estudio es de flujo bajo, por ende, no indica que el pavimento se encuentra en malas condiciones, esto se confirma al calcular la relación de área normalizada del cuenco, con la deflexión máxima.

### e. Radio de Curvatura

El *RoC* evalúa la zona de la cuenca cercana al impacto de la carga, representativa del comportamiento de las capas superficiales

Se puede determinar mediante la ecuación mencionada por Emile Horak (2008):

$$RoC = \frac{L^2}{\left[ 2 * D_{m\acute{a}x} * \left( 1 - \frac{D_{200}}{D_{m\acute{a}x}} \right) \right]} \quad \text{Ec.8}$$

Donde:

RoC= Radio de Curvatura

L= 200 mm para FWD

$D_{m\acute{a}x}$ =Deflexión máxima corregida

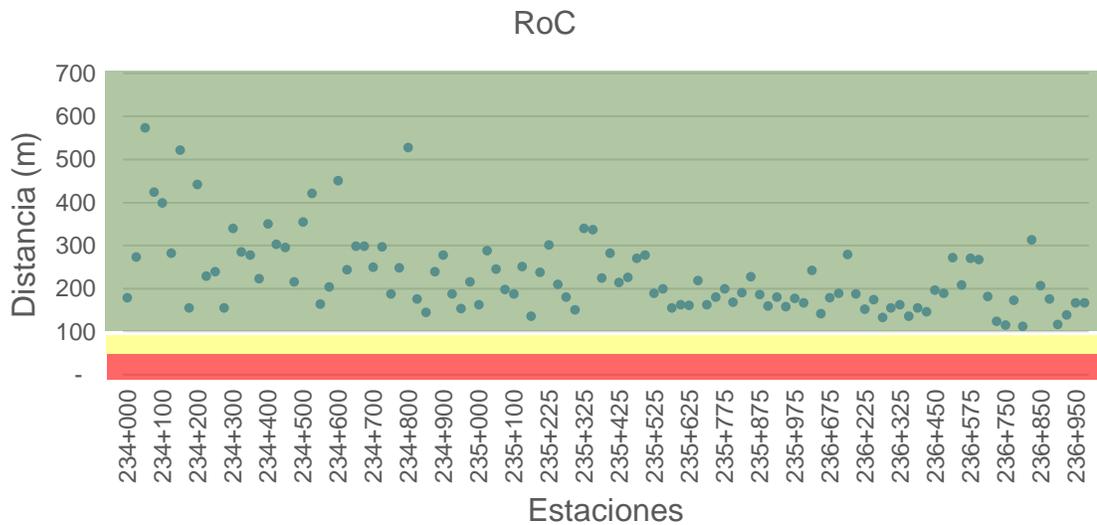
$D_{200}$ = Deflexión corregida encontrada en el geófono a 200 mm del plato de carga

Una vez mencionada la fórmula, procedemos a la aplicación de esta misma en al menos la primera medición (**Ver Anexo, Tabla 33, p. XIV-XIX**):

$$RoC_1 = \frac{(200 \text{ mm})^2}{\left[ 2 * (425 \mu\text{m}) * \left( 1 - \frac{313 \mu\text{m}}{425 \mu\text{m}} \right) \right]} = 178 \text{ m}$$

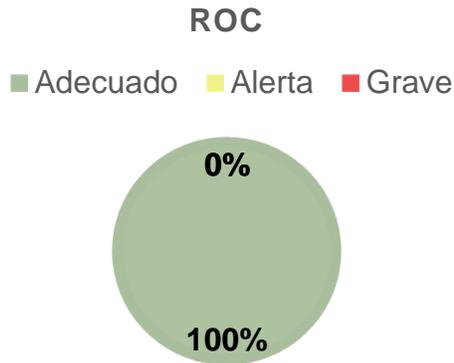
Para determinar los valores adecuados, en riesgo o graves, se hace uso de la Tabla N° 8, ya que denota los rangos de condiciones estructurales según tipo de pavimento.

**Gráfico N° 13. Dispersión en base a los datos obtenidos de RoC**



Fuente: Elaboración propia.

## Gráfico N° 14. Porcentajes de RoC



Fuente: Elaboración propia.

Al observar el comportamiento de la información recopilada, las gráficas muestran que el 100% se encuentra en un rango adecuado, esto indica que la capa superficial está en excelentes condiciones.

### f. Módulo de Rigidez Dinámico

El módulo de rigidez dinámico, según Beltrán G y Romo M. en su documento, indican que la fórmula es la siguiente:

$$MRD = \frac{Q}{D_{m\acute{a}x}} \quad \text{Ec.9}$$

Donde:

MRD= Modulo de Rigidez Dinámico

Q= peso de plato de carga, 40 kN

$D_{m\acute{a}x}$ =Deflexión máxima corregida

Evalúa la resistencia global de la estructura en función de la carga aplicada, Q; bajo el mismo nivel de carga, los valores más altos reflejan mayores resistencias. Los valores y rangos deseables para este índice son  $MRD \geq 20$  t/mm, por lo tanto, al calcular este módulo, la carga Q, la debemos de pasar a toneladas:

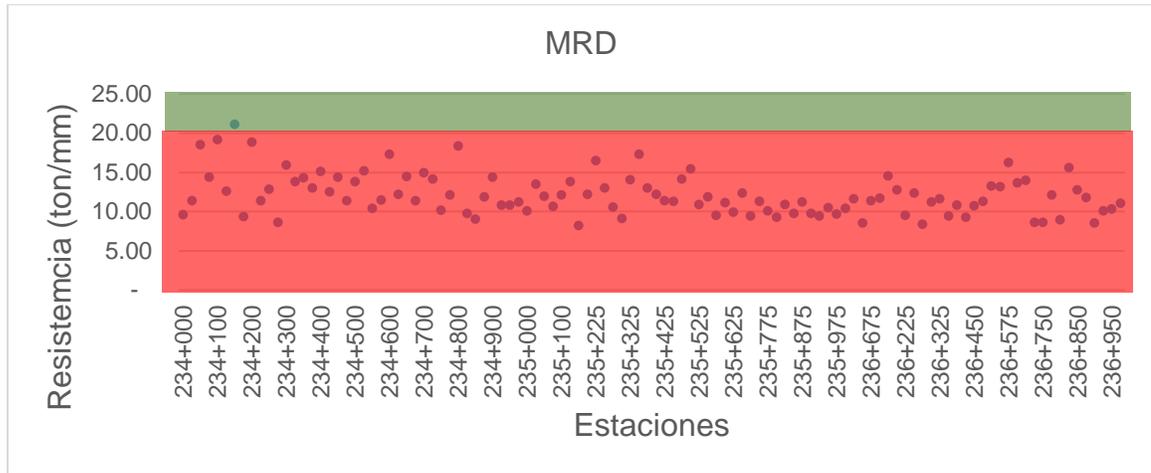
$$40 \text{ kN} \rightarrow 4.0789 \text{ ton}$$

Por ende, el primer valor sería el siguiente:

$$MRD_1 = \frac{4.0789 \text{ ton}}{\left(\frac{425\mu\text{m}}{1000}\right)} = 9.59 \text{ ton/mm}$$

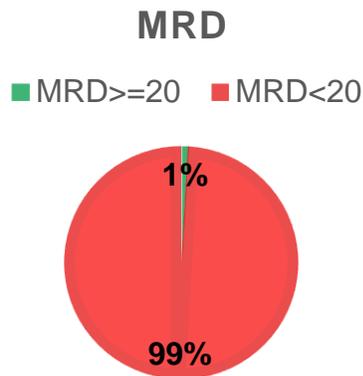
Según los siguientes gráficos la resistencia global de la carga aplicada es deficiente, solo el 1% de una muestra de 110 mediciones es adecuada, al tener resultados menores de 20 podemos afirmar que no tiene buena resistencia.

**Gráfico N° 15. Dispersión de MRD**



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico N° 16. Porcentajes de MRD**



Fuente: Elaboración propia

### g. Resistencia del pavimento

Para la obtención del Área de Cuenco, se divide la deflexión registrada en cada sensor por  $D_{m\acute{a}x}$ . Beltrán G y Romo M. (2012) añaden que: “Esta fórmula consiste en el cálculo del área normalizada ( $AN_{900}$ ) cuando se utilizan 4 sensores separados a distancias constantes de 300 mm, con lo cual se evalúa la cuenca hasta una distancia de 900 mm desde el eje de carga”.

$$AN_{900} = \frac{150 * (D_{m\acute{a}x} + 2 * D_{300} + 2 * D_{600} + D_{900})}{D_{m\acute{a}x}} \quad \text{Ec. 10}$$

Donde:

$AN_{900}$  = Área de Cuenco Normalizada

$D_{m\acute{a}x}$  = Deflexión máxima corregida

$D_{300}$  = Deflexión corregida encontrada en el geófono a 300 mm del plato de carga

$D_{600}$  = Deflexión corregida encontrada en el geófono a 600 mm del plato de carga

$D_{900}$  = Deflexión corregida encontrada en el geófono a 900 mm del plato de carga

Con posterioridad, se evalúa la primera estación en la fórmula previamente mencionada.

$$AN_{900_1} = \frac{150 * (425\mu m + 2 * 249\mu m + 2 * 132\mu m + 82\mu m)}{425\mu m} = 448$$

El Área de Cuenco normalizada junto con la deflexión máxima, se han utilizado localmente como indicadores de la resistencia del pavimento y de la subrasante, según se muestra en la Tabla N° 10.

**Tabla N° 10. Clasificación de Resistencia**

$AN_{900}(mm)$	$D_{m\acute{a}x}$	Subrasante	Pavimento
Baja (<600)	Baja (<700)	Resistente	Débil
Baja (<600)	Alta (>700)	Débil	Débil
Alta (>600)	Baja (<700)	Resistente	Resistente
Alta (>600)	Alta (>700)	Débil	Resistente

Fuente: Beltrán y Romo, 2012, p.3

A continuación, se hará la relación de los resultados de área de cuenco normalizado y deflexión máxima corregida:

**Tabla N° 11. Ejemplo de relación de  $AN_{900}$  y  $D_{m\acute{a}x}$**

Estación	$AN_{900}(mm)$	Condición $AN_{900}$	$D_{m\acute{a}x}$	Condición $D_{m\acute{a}x}$	Clasificación de Resistencia
234+000	448	Baja (<600)	425	Baja (<700)	Subrasante Resistente y Pavimento Débil
234+025	480	Baja (<600)	358	Baja (<700)	Subrasante Resistente y Pavimento Débil

Fuente: Elaboración propia

Según los cálculos elaborados por la fórmula correspondiente, relacionando el Área de cuenco y la Deflexión máxima, se presenta la Tabla 12, donde resume los resultados obtenidos.

**Tabla N° 12. Relación Área de cuenco y Deflexión máxima**

AN 0.9/D0	
Pav. débil y Sub. resistente	110
Pav. débil y Sub. débil	0
Pav. resistente y Sub. resistente	0
Pav. resistente y Sub. débil	0

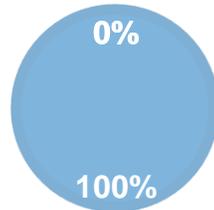
Fuente: Elaboración propia.

Como se puede apreciar en la tabla anterior, los 110 datos, representando el 100 %, dieron como resultado que el pavimento es débil y la subrasante es resistente. Estos resultados, en el gráfico 17, se representan por medio de un diagrama de pastel.

## Gráfico N° 17. Porcentajes de A<sub>N</sub>

### AN 0.9 /D0

- Pav. débil y Sub. resistente
- Pav. débil y Sub. débil
- Pav. resistente y Sub. resistente
- Pav. resistente y Sub. débil



Fuente: Elaboración propia.

A pesar de que el resultado de todas las pruebas de deflexión (**Ver Anexo, Tabla 33, p. XIV-XIX**), indican que el pavimento es débil y la subrasante es resistente, muestra que si es una carretera apta para transitar debido a que es de poco flujo vehicular, no presentará daños graves con el pasar de los años.

De todo lo anterior, podemos decir que es coherente que el pavimento sea débil, debido a que en el cálculo de la Relación de deflexión (RD), denotando la capacidad estructural de la capa superior, dio como resultado que el 95% de las medidas no son adecuadas, por otro lado, al evaluar el D<sub>máx</sub> se determinó que la subrasante no es débil, el índice de forma (F2) determina que la capa granular es deficiente, el radio de curvatura (RoC) indica que es adecuado, es decir, que todo lo previamente analizado, coinciden en que el pavimento es débil pero la subrasante es resistente, sin embargo, algunos indicadores divergen como la Relación de la Deflexión (RD), el Índice de Forma (F2), Módulo de Resilencia (MRD), ya que estos consideran parámetros más exigentes, es decir, que son específicos para evaluar vías con alta demanda de tránsito o bien, pavimentos con espesores más anchos, como son en los casos de vías primarias o arteriales.

Esta información presentada previamente en la sección 2.3.2.2, se refuerza con la siguiente tabla, demostrando los resultados representados por medio de porcentajes adecuados, riesgos y graves de todos los parámetros estructurales calculados mediante las pruebas de deflexión:

**Tabla N° 13. Resumen de resultado de parámetros estructurales**

<b>Condiciones según Índice (%)</b>			
<b>Índice</b>	<b>Adecuada</b>	<b>Riesgo/Alerta</b>	<b>Grave/No Adecuado</b>
Dmáx	100	0	0
BLI	75	25	0
MLI	57	42	1
LLI	97	3	0
RD	5	0	95
F2	0	0	100
RoC	100	0	0
MRD	1	0	99

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla se puede apreciar los resultados obtenidos de las pruebas de deflexión denotando que el 100% de los datos obtenidos presentan una Deflexión máxima adecuada, el 75% de los datos dan como resultado que la rigidez de las capas superiores del pavimento están en un rango adecuado y el restante 25% se encuentran en un rango de riesgo o alerta, en el caso de la rigidez de la capa intermedia podemos observar que el 57% son adecuadas según los rangos establecidos por Emile Horak, el 42% están en rango de riesgo y solo el 1% de los mismos se encuentra en condiciones no adecuadas, por otro lado, al analizar los resultados obtenidos respecto a la rigidez de las capas inferiores, se denota que el 97% de los datos son adecuados y solo el 3% de ellos están en riesgo. La relación de deflexión refleja que el 95% de los datos son no adecuados y el 5% son adecuados, el Índice de Forma indica que el 100% de los datos son no adecuados. La prueba de El Radio de Curvatura da como resultado que el 100% es adecuado y el Modulo de Rigidez Dinámico indica que 1% es adecuado y el restante 99% es no adecuado.

# **CAPITULO III**

## **ESTUDIO DE TRÁNSITO**



## **CAPITULO III: ESTUDIO DE TRÁNSITO**

### **3.1 Estudio de tránsito**

El estudio del tránsito vehicular es imprescindible para conocer las condiciones actuales de la vialidad existente del tramo en estudio, por otra parte, permite hacer una estimación de las condiciones que se esperan a futuro.

Como se ha demostrado en estudios viales, el tránsito en Nicaragua se ha venido desarrollando de la mano con el avance del transporte, tanto de las unidades vehiculares como de infraestructura. El tramo La Curva- Nueva Guinea, ha pasado de ser un tramo poco transitado con una calle de tierra a ser una colector principal en los últimos años, ya que en los proyectos de mejora vial se ha avanzado con la construcción de varias vías fundamentales para vincular a la Costa Caribe con el centro y Pacífico de Nicaragua.

Esto abriría enormes posibilidades para potencializar la inversión nacional y extranjera, crecimiento del empleo, desarrollo de nuevas oportunidades para el comercio exterior y para realizar también las exportaciones e importaciones, ya que cuando se habla del Caribe, se está dependiendo de puertos en los países vecinos.

#### **3.1.1 Tipología Vehicular**

El Anuario de Aforos de Trafico 2019 (2020) menciona que:

Para el levantamiento de información en campo, es necesario tener en cuenta las características de los vehículos, ya que difieren unos de otros, actualmente en nuestro país hay gran variedad de vehículos, para simplificar su estudio es conveniente agruparlos en las siguientes categorías (p.33):

##### **a. Bicicleta:**

Vehículo de dos ruedas no motorizadas.

**b. Motocicletas:**

Se incluyen todas las categorías de dos, tres y cuatro ruedas de vehículos motorizados, esta categoría incluye scooter, motonetas, motocarros, cuerdas ciclos y otros triciclos a motor.

**c. Vehículos livianos:**

Vehículos automotores de cuatro ruedas, que incluyen los Automóviles, camionetas, pick-ups, jeeps y microbuses de uso particular.

**d. Vehículos pesados de pasajeros:**

Son los vehículos destinados al transporte público de pasajeros de cuatro, seis y más ruedas, que incluyen los Microbuses pequeños (hasta 15 pasajeros), Minibuses (25 pasajeros) y Buses.

**e. Vehículos pesados de carga:**

Vehículos destinados al transporte pesado de carga mayores o iguales a tres toneladas y que tienen seis o más ruedas en dos, tres, cuatro, cinco y más ejes, estos vehículos incluyen, los camiones de dos ejes (C2) mayores o iguales de tres toneladas, los camiones de tres ejes (C3), los combinados con remolque del tipo (C2R2) y los vehículos articulados de cinco y seis ejes de los tipos (T3S2) y (T3S3), también incluyen los T2S2, T2S1, T2S3 y los C3R3.

**f. Vehículos pesados:**

Incluyen los vehículos de construcción y los vehículos agrícolas.

**g. Otros:**

Vehículos livianos con un tráiler

**h. Vehículos de tracción animal:**

Incluyen los carretones y carretas haladas por animales de tiro.

En la siguiente Tabla, se hace referencia a lo expuesto anteriormente.

Tabla N° 14. Tipología Vehicular

CLASIF. VEHICULAR	TIPOS DE VEHICULOS	ESQUEMA VEHICULAR	DESCRIPCIÓN DE LA TIPOLOGÍA VEHICULAR
VEHICULOS DE PASAJEROS	MOTOCICLETAS		Incluye todos los tipos de Motocicleta tales como, Minimoto, Cuadriciclos, Moto Taxis, Etc. Este último fue modificado para que pudiera ser adaptado para el traslado de personas, se encuentran más en zonas Departamentales y Zonas Urbanas. Moviliza a 3 personas incluyendo al conductor.
	AUTOMOVILES		Se consideran todos los tipos de automóviles de cuatro y dos puertas, entre los que podemos mencionar, vehículos cope y station wagon.
	JEEP		Se consideran todos los tipos de vehículos conocidos como 4*4. En diferentes tipos de marcas, tales como TOYOTA, LAND ROVER, JEEP, ETC.
	CAMIONETA		Son todos aquellos tipos de vehículos con lina en la parte trasera, incluyendo las que transportan pasajeros y aquellas que por su diseño están diseñadas a trabajos de carga.
	MICROBUS		Se consideran todos aquellos microbuses, que su capacidad es menor o igual a 14 pasajeros sentados.
	MINIBUS		Son todos aquellos con una capacidad de 15 a 30 pasajeros sentados.
	BUS		Se consideran todos los tipos de buses, para el transporte de pasajeros con una capacidad mayor de 30 personas sentadas.
VEHICULOS DE CARGA	LIVIANO DE CARGA		Se consideran todos aquellos vehículos, cuyo peso máximo es de 4 toneladas o menores a ellas.
	CAMIÓN DE CARGA C2 - C3		Son todos aquellos camiones tipos C2 (2 Ejes) y C3 (3 Ejes), con un peso mayor de 5 toneladas. También se incluyen las furgonetas de carga liviana.
	CAMIÓN DE CARGA PESADA T <sub>x</sub> R <sub>x</sub> =4		Camiones de Carga Pesada, son vehículos diseñados para el transporte de mercancía liviana y pesada y son del tipo T <sub>x</sub> R <sub>x</sub> =4.
	T <sub>x</sub> R <sub>x</sub> =5		Este tipo de camiones son considerados combinaciones Tractor Camión y semi-Remolque, que sea igual o mayor que 5 ejes.
	C <sub>x</sub> R <sub>x</sub> =4		Camión Combinado, son combinaciones camión remolque que sea menor o igual a 4 ejes y están clasificados como C <sub>x</sub> R <sub>x</sub> =4
	C <sub>x</sub> R <sub>x</sub> =5		Son combinaciones iguales que las anteriores pero iguales o mayores cantidades a 5 ejes.
EQUIPO PESADO	VEHICULOS AGRICOLAS		Son vehículos provistos con llantas especiales de hule, de gran tamaño. Muchos de estos vehículos poseen arados u otros tipos de equipos, con los cuales realizar las actividades agrícolas. Existen de diferentes tipos (Tractores - Arados - Cosechadoras)
	VEHICULOS DE CONSTRUCCIÓN		Generalmente estos tipos de vehículos se utilizan en la construcción de obras civiles. Pueden ser de diferentes tipos, Motoniveladoras, retroexcavadoras, Recuperador de Caminos/Mezclador, Pavimentadora de Asfalto, Tractor de Cadenas, Cargador de Ruedas y Compactadoras.
OTROS	REMOLQUES YO TRAILERS		Se incluye remolques o trailers pequeños halados por cualquier clase de vehículo automotor, también se incluyen los halados por tracción animal (Bemovientes).

Fuente: Tabla N°9 de Anuario de Aforos de Tráfico 2019, p.26.

### **3.1.2 Tipos de Tránsito**

Según el “Manual para la Revisión de Estudios de Tránsito” preparado por la empresa consultora Corea y Asociados S.A. (CORASCO) para el Ministerio de Transporte e Infraestructura, el tránsito se divide en:

#### **3.1.2.1 Tránsito actual ( $T_a$ )**

Es la composición de una cantidad de vehículos que durante una unidad de tiempo viajan en ambas direcciones, en una determinada carretera o entre un origen y un destino.

#### **3.1.2.2 Tránsito futuro ( $T_f$ )**

El tránsito futuro se compone del valor proyectado del tránsito a partir del año en que se espera sea concluida la ejecución del estudio o proyecto. El tránsito futuro suele dividirse en:

##### **a. Tránsito normal ( $T_n$ ):**

Es el resultante del crecimiento esperado del tránsito en las vías existentes, aunque no se lleve a cabo un proyecto.

Generalmente, es el más utilizado para obtener el TPDA futuro, se calcula aplicando las tasas de crecimiento obtenidas a través del análisis por métodos estadísticos del tránsito del pasado.

##### **b. Tránsito Promedio Diario (TPD):**

Es el volumen de tránsito durante un período de tiempo, dividido por el número de días del período. Según el período utilizado para medir el volumen de tránsito, el TPD puede ser anual, mensual o semanal, denominándose TPDA, TPDM y TPDS respectivamente.

##### **c. Tránsito desviado o tránsito atraído ( $T_d$ ):**

Es el resultante del crecimiento esperado del tránsito, desviado de otras carreteras u otros medios de transporte (tránsito atraído), a la carretera proyectada (nueva o mejorada) en virtud de un menor costo de transporte.

### 3.1.3 Volumen de tránsito

El volumen de tránsito es el número total de vehículos que circulan por una sección de la vía en un período de tiempo determinado. Dependiendo de la duración del lapso de tiempo se tienen los siguientes volúmenes de tránsito:

#### a. Tránsito semanal (TS):

Es el número total de vehículos que pasan durante una semana. En este caso, t=1 semana. Estos generan el TPDS, la cual, su fórmula esta dado a continuación:

$$TPDS = \frac{TS}{7} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde:

TPDS= Tránsito Promedio Diario Semanal

TS= Tránsito Semanal

#### b. Tránsito mensual (TM):

Es el número total de vehículos que pasan durante un mes. En este caso t=1 mes. Este genera el TPDM:

$$TPDM = \frac{TM}{\text{dias del mes}} \quad \text{Ec. 12}$$

Donde:

TPDM= Tránsito Promedio Diario Mensual

TM= Tránsito Mensual

#### c. Tránsito anual (TA):

Es el número total de vehículos que pasan durante un año. En este caso t=1 año. Este genera el TPDA:

$$TPDA = \frac{TA}{365} \quad \text{Ec. 13}$$

Donde:

TPDS= Tránsito Promedio Diario Anual

TS= Tránsito Anual

### **3.2 Clasificación Funcional**

Todos los caminos que se incluyen en esta clasificación más algunos que por su importancia económica han sido objeto de mejoras, forman parte de lo que se denomina Red Vial Básica la cual se define como aquellas carreteras y caminos considerados arterias principales que comunican con los puntos de acceso internacionales importantes para el país, uniendo fronteras, puertos marítimos y aeropuertos internacionales.

El MTI en su Anuario publicado en el 2020, menciona que:

Hay ciertos vocablos que describen la extensión de las funciones que desempeñan las carreteras y caminos: las que se caracterizan por la movilidad se denominan Arterias; las que proporcionan acceso a propiedades adyacentes se les llama Caminos Vecinales y Calles y las que recogen y distribuyen el tráfico entre las dos anteriores se les denomina Colectoras. (p. 26)

Es necesario destacar que las carreteras se clasifican por cinco tipos, las cuales el MTI las define de la siguiente manera:

#### **a. Troncal Principal (TP)**

- Sirve a desplazamientos de grandes longitudes de viajes como tránsito inter-departamental o inter-regional, cuyos índices de viaje son elevados.
- Forman parte de la Red Vial Centroamericana.
- TPDA mayor a 1000 vehículos.
- Conectan cabeceras departamentales o centros urbanos con más de 50000 habitantes.

#### **b. Troncal Secundaria (TS)**

- Conectan cabeceras departamentales o centros económicos importantes, generalmente de tráfico, tales como áreas turísticas capaces de atraer viajes de mayor distancia.

- Sirve a corredores de viajes con longitudes de trayecto y densidades de viajes mayores que los que atienden los sistemas de carreteras colectoras.
- El volumen de tráfico atendido es mayor de 500 veh/día.

**c. Colectora Principal (CP)**

- Comunican una o más cabeceras municipales con una población superior a los 10000 habitantes.
- Se usan como conexión entre dos caminos troncales secundarios.
- Interceptan en cada uno de sus extremos un sistema vial funcionalmente de igual o superior categoría.
- El flujo de tráfico es mayor de 250 veh/día.

**d. Colectora Secundaria (CS)**

- Suministrar conexiones a una categoría superior de comunicación para centros urbanos y generadores de tráfico menores.
- Son caminos de alta importancia municipal, con poblaciones servidas mayores de 5000 habitantes.
- El flujo de tráfico atendido es mayor a los 250 veh/día.

**e. Camino Vecinal (CV)**

- Proporciona el acceso a zonas remotas del país que carecen de facilidades de transporte y canalizar la producción agropecuaria desde la fuente hacia los centros de consumo y exportación en conjunto con carreteras de nivel superior.
- Las zonas que conectan tienen menos de 1000 habitantes y su volumen de tráfico es menor a 50 veh/día.

En la tabla 15, se expresa la clasificación funcional de la carretera en la que se encuentra el tramo en estudio, la cual es La Curva-Nueva Guinea, del km 234 al km 237, además se señala que es una carretera de asfalto y que está clasificada como Colectora principal debido a que el flujo de tráfico es mayor a 250 veh/día,

comunica una cabecera municipal con una población superior a los 10,000 habitantes y se usa como conexión entre dos caminos troncales secundarios.

**Tabla N° 15. Clasificación Funcional de carretera La Curva-Nueva Guinea**

NIC_NN	Nombre del Tramo	C.H (Km)	Adoq. (Km)	Asfalto (Km)	Long (Km)	Clasificación Funcional
NIC.67	Empalme a San Miguelito-San Miguelito		0.37	7.44	7.81	C.S
NIC.68B	Empalme Las Marías-Mina Limón		14.68		14.68	C.S
NIC.70B	Nic. 0.1 Km 39+510 (Estatua Andrés)-Sitio Histórico Hacienda. San Jacinto			3.18	3.18	C.V
NIC.70A	Quebrada Honda-San Francisco Libre				30.15	C.P
	Quebrada Honda-Finca Quisala		4		4	
	Empalme San Ramón-San Francisco Libre		26.15		26.15	
NIC.71	Nic. 07 km 223+900 (La Curva)-Nueva Guinea			58.78	58.78	C.P
	Nueva Guinea-Naciones Unidas		25.95		25.95	C.S
	Bluefields-San Francisco	26.5			26.5	C.S
NN_13	Km 20+420 (Empalme Ciudad Antigua-Ciudad Antigua)		5.01		5.01	C.S
NN_221	Rivas-Puerto San Jorge			4.54	4.54	C.P
NN_234	Km 90+790 (León) (Empalme La Ceiba-La Ceiba)		6.69		6.69	C.S

Adoq: Adoquín, C.H: Concreto Hidráulico

Fuente: Red Vial 2020 p.103

### **3.3 Tránsito Promedio Diario Anual**

#### **3.3.1 Definición**

El MTI en su Anuario (2020) define lo siguiente: “El TPDA es la unidad de medida habitual para indicar el uso o importancia de una carretera y se expresa en número de vehículos por día”. (p.22)

#### **3.3.2 Factores para cálculo de TPDA**

Para estimar el valor del TPDA correspondiente a los datos obtenidos de los conteos en las estaciones de Corta Duración, se aplicarán los factores de los valores de volúmenes de tráfico encontrados en las estaciones de mayor cobertura. (Anuario de Aforos de Tráfico 2020, p.17)

##### **3.3.2.1 Clasificación de estaciones por las categorías de vectores**

“Se realiza una clasificación de las estaciones de conteo en base a la tipología y función” (Anuario de Aforos de Trafico 2020 p.16):

###### **a. Estaciones de Mayor Cobertura (EMC)**

Son las estaciones de conteos continuos los 365 días del año con conteos clasificados de 24 horas por día, pero debido al alto costo en la ejecución, no hay capacidad de realizarlo el periodo que corresponde, por ende, se dividió el periodo en tres cuatrimestres, realizando conteos clasificados durante 3 tiempos por 7 días consecutivos cada uno de 24 horas.

###### **b. Estación de Corta Duración (ECD)**

Se aplica a un conjunto de estaciones donde los flujos reportados son mayores de 300 TPDA.

###### **c. Estación de Conteo Sumaria (ECS)**

Son estaciones con volúmenes menores a 300 TPDA. En el Anuario de Aforos de Tráfico del año 2020, es indicado:

En la red vial básica del país, el sistema de conteo de tráfico en el año 2020 identifica que existen 598 estaciones, las cuales se clasifican en 11

estaciones de mayor cobertura, 348 estaciones de corta duración, 237 estaciones de conteo sumarias y 2 estaciones que a la fecha no tienen conteo. (p.18)

A continuación, en la siguiente tabla se presentan las 11 Estaciones de Mayor Cobertura en el territorio nacional.

**Tabla N° 16. Estación de Mayor Cobertura correspondiente a la Curva-Nueva Guinea**

Código NIC	Estación	Tipo	Nombre del Tramo
NIC-1	101B	EMC	Zona Franca-La Garita
NIC-1	107	EMC	Sébaco-Empalme San Isidro
NIC-2	200	EMC	Entrada al INCAE-El Crucero
NIC-3	300	EMC	Sébaco-Quebrada Honda
NIC-4	401	EMC	Masaya-Granada
NIC-7	700	EMC	Empalme Camoapa-Tecolostote
NIC-12A	1205	EMC	Empalme Chichigalpa-Rotonda Chinandega
NIC-18A	1802	EMC	San Marcos-Masatepe
NIC-24A	2404	EMC	Chinandega-Corinto
NIC-24B	2400	EMC	Chinandega (Rotonda)-Ranchería
NIC-28	2803	EMC	Nagarote-La Paz Centro

Fuente: Tabla N°2 de Anuario de Aforos de Tráfico 2020, p.18

Se sabe que a nivel nacional, las 11 estaciones de mayor cobertura están comprendidas por 598 estaciones, logramos identificar por medio de las tablas de dependencia de estaciones proporcionadas por el Anuario de Aforos de Tráfico, en que EMC corresponde el tramo en estudio.

Posteriormente, se presenta una tabla demostrando la Estación de Mayor Cobertura (EMC) en la que se encuentra, su clasificación de estación, el número de estación, la NIC donde se encuentra y nombre del tramo.

**Tabla N° 17. Ubicación del tramo en estudio en Estación de Mayor Cobertura**

Estación de Mayor Cobertura	NIC_NN	N° Estación	Tipo	Nombre del Tramo
1802 San Marcos- Masatepe	NIC-70B	7011	ECS	Emp. Hda. San Jacinto (Inter NIC-1)-Hda. San Jacinto
	NIC-71	7101	ECD	La Curva-Las Miradas
	NIC-71	7110A	ECS	Nueva Guinea-La Esperanza
	NIC-71	7110B	ECD	La Esperanza-Naciones Unidas
	NIC-71	7110C	ECS	Naciones Unidas-Bluefields
	NIC-72	7201	ECD	Rivas-La Chocolate-San Juan del Sur
	NIC-73	7301	ECD	Tipitapa-Hda. San Juan (La Plywood)
	NIC-74	7401	ECS	Nindirí-El Pochote
	NIC-74	7402	ECD	El Pochote-Masatepe
	NN-3	7702	ECS	Somoto-El Cairo-Icalupe
	NN-4	7701	ECD	Somoto-San Lucas
	NN-4	7703	ECS	San Lucas-Las Sabanas

Emp: Empalme, Hda: Hacienda

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2020, p.67

De esta tabla podemos observar que se encuentra en la EMC 700, su número de estación es la 7101 y está clasificada como estación de Corta Duración debido a que según la serie histórica de TPDA, se logra apreciar que el flujo vehicular es mayor a 300 TPDA.

### 3.3.2.2 Factor para cálculo de TPDA

El Anuario de Aforos de Tráfico 2020 menciona: “Para el cálculo de TPDA en las Estaciones de Corta Duración (ECD) y Estaciones de Conteo Sumaria (ECS), dependiendo de los días que realice los aforos” (p.19) se utilizan los siguientes factores:

#### a. Factor Día

Se expande tráfico diurno de 12 horas a tráfico diario de 24 horas, se obtiene mediante los resultados correspondientes de las estaciones de mayor cobertura de 24 horas siendo la fórmula:

$$Factor\ Dia = 1 + \frac{Tráfico\ Nocturno}{Tráfico\ Diurno} \quad \mathbf{Ec. 14}$$

### **b. Factor Semana**

El factor para expandir el resultado obtenido para un periodo corto de tres días de la semana (martes a jueves) a los promedios semanales 7 días (lunes a domingo), siendo la fórmula para calcular:

$$Factor\ Semana = \frac{(Tlab * 5 + Tfs * 2)}{7 * Tlab} \quad \mathbf{Ec. 15}$$

Donde:

Tlab: Tráfico levantado durante la semana lunes a viernes

Tfs: Tráfico levantado durante el fin de semana sábado a domingo

### **c. Factor Fin de Semana**

Es el factor para expandir un conteo realizado durante el fin de semana a los 7 días de la semana, utilizando la siguiente formula:

$$Factor\ laboral = \frac{(Tlab * 5 + Tfs * 2)}{7 * Tfs} \quad \mathbf{Ec. 16}$$

### **d. Factor Expansión**

Es el factor para expandir el tráfico diario semanal al tránsito promedio diario anual (TPDA) por tipo de vehículo, el que se obtiene de los conteos realizados en la estación de mayor cobertura.

Los factores para el cálculo de TPDA pueden ser calculados manualmente con las fórmulas previamente presentadas, pero existen tablas donde se muestran dichos factores dependiendo de la Estación de Mayor Cobertura donde se encuentren y el período en el cual se realizó el conteo.

Sabiendo que el tramo en estudio se encuentra ubicado en la EMC 1802 de nombre Empalme San Marcos-Masatepe y el conteo se realizó los días 23, 24 y 25 de marzo, los factores de ajuste que corresponden, son los del primer cuatrimestre del año, presentados en la Tabla 18.

**Tabla N° 18. Factores del primer cuatrimestre del año 2020 (Enero-Abril) de la EMC 1802, San Marcos-Masatepe.**

Desc.	Moto	Carro	Jeep	Cmta.	Micro Bus	Mini Bus	Bus	Liv. 2-5t.	C 2	C 3	Tx-Sx <= 4	Tx-Sx => 5	Cx-Rx <= 4	Cx-Rx => 5	V. A	V. C	Otros
Factor Dia	1.34	1.29	1.18	1.25	1.23	1.14	1.38	1.15	1.20	1.21	1	1.32	1	1	1	1	1.3
Factor Sem.	0.95	0.96	1	0.97	0.92	0.93	0.89	0.91	0.83	0.86	1	0.86	1	1	1	1	0.89
Factor Fin de Sem.	1.15	1.11	0.99	1.08	1.30	1.22	1.44	1.33	2.07	1.68	1	1.69	1	1	1	1	1.48
Factor Ajuste	1.15	1.15	1.35	1.13	1.20	1.23	1.16	1.15	1.04	1.27	1	1.54	1	1	1	1	1.88

Desc: Descripción, Sem: Semana, Cmta: Camioneta, Liv: Liviano, V.A: Vehículo Agrícola, V.C: Vehículo Construcción

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2020, p.385

### 3.3.3 Desarrollo del Cálculo de TPDA

Previo a la realización del cálculo, se debe de mencionar que el conteo vehicular se hizo por medio de una aplicación en Tablet (Ver Figura 11) proporcionadas por el FOMAV, debido a que le es más factible tenerlos de manera digital, para que el MTI los pueda procesar con más rapidez, ya que ellos son los encargados de dichos cálculos.

**Figura N° 11. Tablet con aplicación de conteo vehicular**

Vehículos de Pasajeros			Equipos Pesados
Bicicletas (2)	Motos (78)	Autos (97)	Agrícolas (1)
Jeeps (22)	Camionetas (54)	MicroBus (24)	Construcción (0)
MiniBus (4)	Bus (2)	Camión C2 (6)	
Vehículos de Carga			Vehículos de Tracción
C2 Liviano (9)	C2 > 5Tn (2)	Camión C3 (8)	Tr. Animal (0)
Tx-Sx<=4 (0)	Cx-Rx<=4 (0)	TS>5 T3-S2 (7)	
Cx-Rx>=5 (0)	Otros (0)		

Bestar **Total: 316** Salir

Fuente: Propia, 2021

Ya que nuestro objetivo es el cálculo de demanda de tránsito, este se realizó a mano con el FOMAV, por ende, se utilizó dicha Tablet para el conteo y se realizó todos los cálculos correspondientes para la determinación de TPDA. Con todo lo expresado anteriormente, procedemos a realizar los cálculos correspondientes.

Primero, determinamos la cantidad de vehículos por hora y por tipo de vehículo en las 12 horas de conteo de ambos sentidos (**Ver Anexo, Tabla 34-36, p.XX-XXII**). Seguidamente, se ejecutaron el resto de los cálculos para la determinación del TPDA, efectuándolo de la siguiente manera:

#### a. Tránsito Actual

Al haber presentado dichas tablas de conteo por día, en ambos sentidos, es posible apreciar que el total de vehículos contados durante los tres días fue: 840

vehículos el día martes, 1137 vehículos el día miércoles y 1202 el día jueves, dando un total de 3179 vehículos contados.

#### **b. Tránsito Futuro y volumen de tránsito**

Debido a que el aforo se realizó durante 3 días, para el cálculo de TPDA será necesario la aplicación del factor día para pasar de 12 horas a 24 horas, factor semana dado que el aforo no se hizo durante los 7 días de la semana y el factor expansión para la determinar el TPDA, a continuación, se presentan los siguientes cálculos para mayor comprensión:

- TP(D)

Este tránsito es el promedio de la sumatoria de los vehículos contabilizados con la cantidad de días que se realizó el aforo vehicular. En este caso, la cantidad a dividir es 3, debido a que se contabilizo durante 3 días y se utiliza el conteo de ambos sentidos.

$$TP(D)_{Motos} = \frac{217 + 263 + 252}{3} = 244 \text{ motos}$$

- TPD

Para la elaboración del cálculo de TPD, se debe de multiplicar el Factor Día del primer cuatrimestre del año 2020 correspondiente a cada tipo de vehículo y el TP(D) calculado, esto según el Anuario de Aforos de Tránsito y se utiliza de la siguiente manera:

$$TPD = Fd * TP(D) \quad \text{Ec. 17}$$

Donde:

TP(D)= Tráfico promedio diario 12 horas

Fd= Factor Dia

A continuación, se presenta un ejemplo de dicho cálculo:

$$TPD_{Motos} = 1.34 * 244 \text{ motos} = 327 \text{ motos}$$

- TPDS

El TPDS se calcula multiplicando el valor de TPD por el factor semana correspondiente al tipo de vehículo. A continuación, se presenta un ejemplo de cómo se aplica el factor semana:

$$TPDS = TP(D) * Fd * Fs \quad \text{Ec. 18}$$

Donde:

TP(D)= Tráfico promedio diario 12 horas

Fd= Factor Dia

Fs= Factor Semana

Utilizando la Ecuación 18, realizamos el ejemplo a continuación, respecto a las motos.

$$TPDS_{Motos} = 244 \text{ motos} * 1.34 * 0.95 = 311 \text{ motos}$$

- TPDA

Es necesario señalar, que el cálculo de TPDA se realizará utilizando el Factor Expansión, recordando que dicho factor está dado en la Tabla de Factores del primer cuatrimestre del año 2020, perteneciendo al EMC 1802.

$$TPDA = TP(D) * Fd * Fs * Ft \quad \text{Ec. 19}$$

Donde:

TP(D)= Tráfico promedio diario 12 horas

Fd= Factor Dia

Fs= Factor Semana

Ft= Factor Expansión

Esto se hace por tipo de vehículo. Con posterioridad se presenta un ejemplo de cómo se realiza este cálculo.

$$TPDA_{Motos} = 244 \text{ motos} * 1.34 * 0.95 * 1.15 = 357 \text{ motos}$$

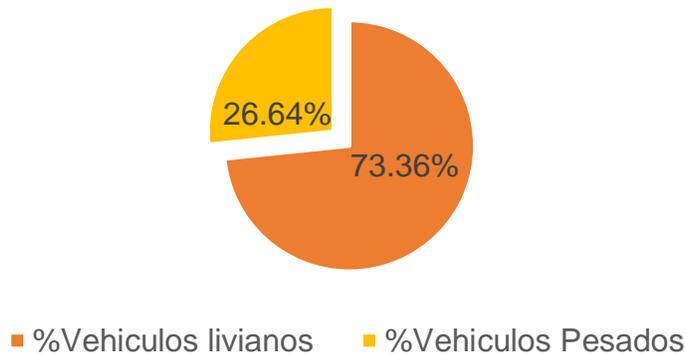
Al haber calculado los TPDA de todos los tipos de vehículos, se tiene que el TPDA del año 2021 es 1327 vehículos. **(Ver Anexo, Tabla 37, p.XXIII)**

### 3.3.4 Composición vehicular del TPDA

A partir de los resultados obtenidos de la expansión de TP(D) a TPDA, se determina la composición vehicular de forma porcentual, la que se conforma de la siguiente manera: de los 1327 vehículos, el 73.36% corresponde a los vehículos livianos (motos, auto, jeep, camioneta, mini bus y micro bus), el 26.64%, restante representan los vehículos pesados (bus, liviano de carga C2, C3, Tx-Sx  $\leq 4$ , Tx-Sx  $\geq 5$ , Cx-Rx  $\leq 4$ , Cx-Rx  $\geq 5$ , V.A, V.C y Otros). Lo expresado previamente, se puede observar más detallado en el Grafico siguiente:

#### Gráfico N° 18. Porcentaje de Composición Vehicular

Porcentaje de Composición Vehicular



Fuente: Elaboración propia

Los porcentajes de los vehículos livianos, pesados y de carga para el tramo: La Curva-Las Miradas son 73.36% y 26.64% respectivamente, en comparación con los valores de la Estación de Mayor Cobertura 1802, San Marcos-Masatepe, existe una ligera variación, ya que los valores que la caracterizan son 91.1% para vehículos livianos, 8.8% para vehículos pesados. Cabe mencionar, que los porcentajes de vehículos del tramo en estudio, presentan una similitud con la Estación de Mayor Cobertura 300, Sebaco-Quebrada Honda. En la tabla a continuación se señala de color azul la Estación planteada como Estación madre y de color naranja la Estación similar.

**Tabla N° 19. Porcentaje vehicular de Estaciones de Mayor Cobertura**

N°	Est.	Nombre del tramo	TPDA	Total Pesados	∑Tx-Sx y Cx-Rx	% de Livianos	% de Pesados	% Tx-Sx y Cx-Rx Vehículos de Carga
1	101B	Zona Franca-La Garita	24,523	5,291	956	78.30%	21.60%	18.10%
2	1205	Emp. Chichigalpa-Rotonda Chinandega	10,585	2,614	934	75.00%	24.70%	35.70%
3	200	Entrado al INCAE- El Crucero	9,403	1,183	283	87.30%	12.60%	23.90%
4	1802	San Marcos-Masatepe	9,392	830	69	91.10%	8.80%	8.30%
5	401	Masaya-Granada	8,882	1,074	69	87.80%	12.10%	6.40%
6	107	Sebaco- Emp. San Isidro	7,877	1,797	463	77.00%	22.80%	25.80%
7	300	Sebaco-Quebrado Honda	6,270	1,459	200	76.50%	23.30%	13.70%
8	2803	Nagarote- La Paz Centro	6,058	2,227	1,106	62.80%	36.80%	49.70%
9	2404	Chinandega-Corinto	5,471	1,754	1,110	67.70%	32.10%	63.30%
10	2400	Chinandega (Rotonda)-Rancheria	4,019	686	166	81.10%	17.10%	24.20%
11	700	Emp. San Francisco-Tecolostote	2,024	638	96	68.30%	31.50%	15.00%

Fuente: Tabla N° 3 de Anuario de Aforo de Trafico 2020, p.21

### 3.3.5 TPDA histórico en el tramo de estudio

Se tomaron los conteos realizados en los últimos años por el MTI en el tramo La Curva- Nueva Guinea. Es conveniente utilizar estos datos a partir del año 2007 ya que en años previos este tramo no estaba pavimentado y no era clasificado como colector principal, cuya evolución es la que permite determinar el tránsito futuro.

**(Ver Anexo, Tabla 38, p. XXIV)**

### **3.4 Proyecciones de tránsito futuro**

Anuario de Aforos de Tráfico (2020) indica que:

Las proyecciones de demanda de tránsito se pueden realizar de forma cuantitativa por métodos de series de tiempo, o por modelos causales. La primera metodología trata de establecer la tendencia de variación del tránsito según los registros históricos y proyectarlo, asumiendo que la estructura subyacente de la demanda continuará estable. (p. 14)

Para proyectar el tránsito futuro, es necesario tomar en cuenta la población que habita cerca del tramo en estudio, este dato lo extraemos del VIII Censo de Población y IV de Vivienda (2005), el cual especifica la población de Nueva Guinea, desde el 2005 al 2020, con cierta tasa de crecimiento. Por otra parte, también se toma en cuenta el Producto Interno Bruto (PIB) debido a que refleja la inversión y la captación de diferentes recursos (maquila, agroindustria, ganadería, pesca, etc.) que demandan la utilización de los sistemas viales para movilizar sus productos para efectos de consumo interno o explotación.

#### **3.4.1 Tasa de Crecimiento**

De acuerdo a lo especificado en el Anuario de Aforos de Tráfico del MTI (2020), las tasas de crecimiento, se implementan con el propósito de considerar datos estadísticos de conteos previos. Es un proceso investigativo, que involucra los diferentes volúmenes de tránsito (TPDA), y su comportamiento, para así, no presentar ningún distorsionamiento por factores locales, al momento de realizar una proyección para un diseño de pavimento.

##### **3.4.1.1 Determinación de Tasa de Crecimiento**

La tasa de crecimiento varía acorde a los indicadores que se toman en cuenta, por ende, las variables a considerar son las descritas a continuación: el producto Interno Bruto (PIB), considerado por ser un factor socioeconómico, el crecimiento poblacional y los registros históricos de conteos vehiculares, cabe destacar, que se toman los TPDA de la Estación de Corta Duración 7101, La Curva-Las Miradas, desde el 2007 hasta el 2020.

Partiendo de la información del Anuario Estadístico Macroeconómico 2020, Anuario Estadístico INIDE 2011 y Anuario de Aforo de Tráfico 2020, se elaboró una tabla con los datos históricos existentes del PIB, TPDA y población de Nueva Guinea desde el año 2007 hasta el año 2020, donde se aprecia el comportamiento histórico de estos años.

**Tabla N° 20. Registro Histórico del TPDA (ECD 7101), PIB y Crecimiento Poblacional**

<b>Año</b>	<b>TPDA EDC 7101</b>	<b>PIB (miles US\$)</b>	<b>Población Nueva Guinea</b>
2007	536	7423.4	74,648
2008	-	8497	75,115
2009	-	8298.7	75,911
2010	501	8758.6	76,322
2011	-	9774.3	76,773
2012	-	10532.5	77,191
2013	-	10983	77,563
2014	625	11880.4	77,889
2015	-	12756.7	78,168
2016	-	13286	78,427
2017	-	13786	78,633
2018	-	13025.2	78,794
2019	2853	12611.2	78,881
2020	959	12621.5	79,005

Fuente: Anuario de Aforos de Tráfico 2020, Anuario estadístico INIDE 2011 y Anuario Estadístico Macroeconómico 2020.

Para definir la tasa de crecimiento, se especifica los valores de la Tabla 20, en transformadas logarítmicas mostradas en Tabla 21, permitiendo realizar las rectas de regresión, calculando así el coeficiente de correlación de cada una de las variables.

**Tabla N° 21. Transformaciones Logarítmicas (Ln) de los Registros Históricos**

<b>Año</b>	<b>Ln TPDA EDC 7101</b>	<b>Ln PIB</b>	<b>Ln POB Nueva Guinea</b>
2007	6.2841	8.9124	11.2205
2008	-	9.0475	11.2268
2009	-	9.0239	11.2373
2010	6.2166	9.0778	11.2427
2011	-	9.1875	11.2486
2012	-	9.2622	11.254
2013	-	9.3041	11.2588
2014	6.4378	9.3826	11.263
2015	-	9.4538	11.2666
2016	-	9.4945	11.2699
2017	-	9.5314	11.2725
2018	-	9.4746	11.2746
2019	7.9561	9.4423	11.2757
2020	6.8659	9.4432	11.2773

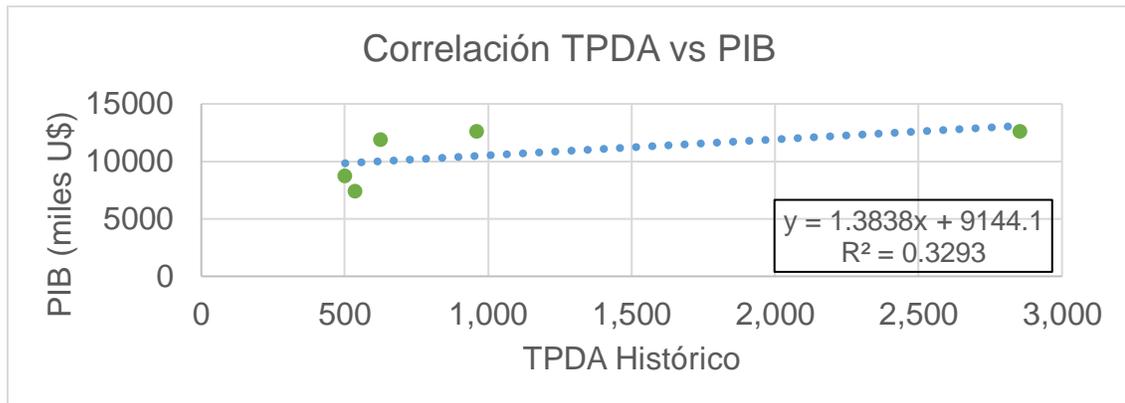
Fuente: Elaboración propia

Con las transformaciones logarítmicas (LN) definidas en la Tabla N°21, se realizan las correlaciones de las variables apreciadas.

#### **3.4.1.2 Correlación TPDA vs PIB**

Para realizar las correlaciones es preciso tener los registros históricos del TPDA de la Estación de Corta Duración 7101, La Curva-Las Miradas y el PIB en miles de U\$, desde el 2007 hasta el 2020 expuestos en Tabla N°20 según el Anuario de Aforo de Tráfico 2020 y Anuario Estadístico Macroeconómico 2020 respectivamente.

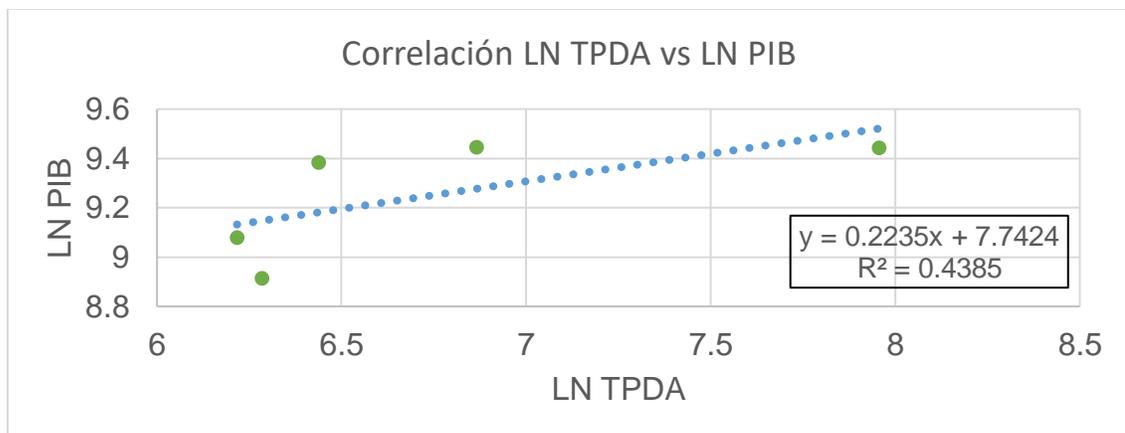
**Gráfico N° 19. Correlación TPDA vs PIB**



Fuente: Elaboración Propia

El proceso de revisión parte del cálculo del logaritmo de los registros históricos, con ellos se elaboran rectas de regresión y se calcula el coeficiente de correlación entre las variables, mientras más cercano al 100% sea, indicara una mejor correlación entre las variables. En este caso, podemos observar que el coeficiente de correlación da 0.3293, es decir, 32.93%, por ende, indica que no existe buena correlación.

**Gráfico N° 20. Correlación Ln TPDA vs Ln PIB**



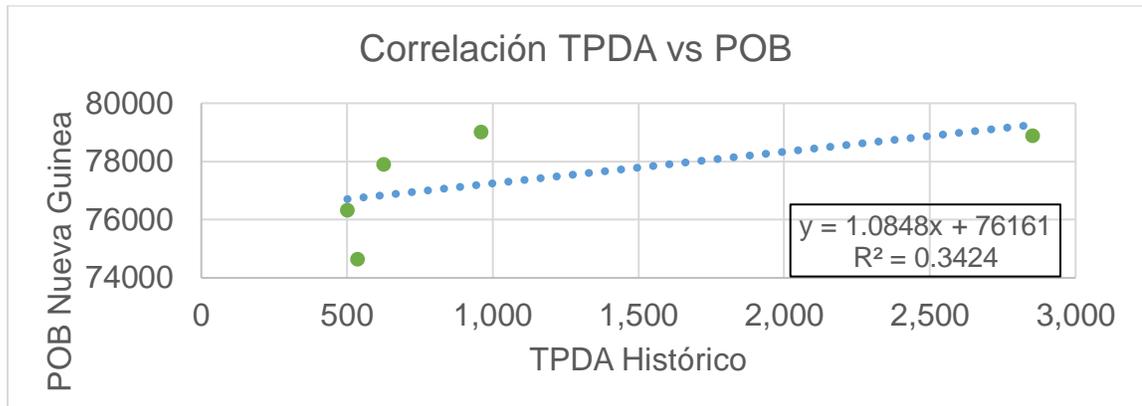
Fuente: Elaboración Propia

Haciendo uso de la Tabla N°21 se tiene el Grafico N°20, el cual presenta un coeficiente de correlación  $R^2=0.4385$ , es decir que la correlación entre el Ln TPDA y Ln PIB, es de 43.85%, por lo que es una correlación baja.

### 3.4.1.3 Correlación TPDA vs POB

Al realizar las correlaciones es preciso tener los registros históricos del TPDA de la Estación de Corta Duración 7101, La Curva-Las Miradas y los registros históricos de la población, siendo Nueva Guinea el sector en estudio. Haciendo uso de Tabla N°20 y Tabla N°21, tenemos las siguientes graficas representado la correlación entre TPDA y Población de Nueva Guinea, desde 2007 hasta 2020.

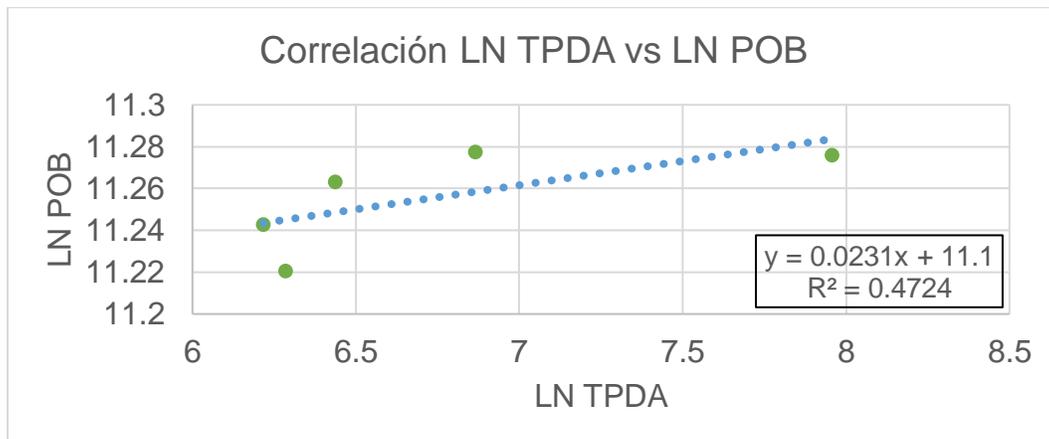
**Gráfico N° 21. Correlación TPDA vs POB**



Fuente: Elaboración propia

El coeficiente de correlación da como resultado 0.4385, es decir, 43.85%, se deduce que no es buena correlación entre variables, por lo que no puede ser utilizada ya que el factor es menor a 0.75.

**Gráfico N° 22. Correlación Ln TPDA vs Ln POB**



Fuente: Elaboración propia

Como puede ser apreciado en el Gráfico N°22, podemos observar que el coeficiente de correlación da como resultado 0.4724, es decir 47.24%, es una correlación baja, por lo tanto, no cumple.

Ya que los coeficientes de correlación dan bajos, en el cálculo de la tasa de crecimiento, no se hará uso de ellos, debido a que no cumplen.

### 3.4.2 Tránsito proyectado

Para determinar la tasa de crecimiento y poder realizar la proyección de tránsito, se hace uso de la serie histórica de TPDA de la Estación de Corta Duración 7101, La Curva-Las Miradas, PIB y población de Nueva Guinea desde el año 2007 hasta el 2020, se calcula con la fórmula expresada en el Anuario de Aforo de Tránsito 2020:

$$TC = \left( \left( \frac{TPDA_i}{TPDA_o} \right)^{1/n} - 1 \right) * 100 \quad \text{Ec. 20}$$

Donde:

$TPDA_i$  = Tránsito Promedio Diario Anual actual

$TPDA_o$  = Tránsito Promedio Diario Actual del año Base

$TC$  = Tasa de crecimiento anual en %

$n$  = La diferencia de años.

A continuación se muestra el cálculo de dichas tasas a utilizar:

$$TC_{TPDA} = \left[ \left( \frac{959}{536} \right)^{1/(2020-2007)} - 1 \right] * 100 = 4.58\%$$

$$TC_{PIB} = \left[ \left( \frac{12621.5}{7423.4} \right)^{1/(2020-2007)} - 1 \right] * 100 = 4.17\%$$

$$TC_{POB} = \left[ \left( \frac{79005}{74648} \right)^{1/(2020-2007)} - 1 \right] * 100 = 0.44\%$$

**Tabla N° 22. Tasa de Crecimiento para las variables**

<b>Variable</b>	<b>TC (%)</b>
TPDA	4.58
PIB	4.17
POB	0.44

Fuente: Elaboración propia

Es necesario realizar un promedio de dichas Tasas de Crecimiento, el cual da como resultado:

$$Tc \text{ promedio a utilizar} = \frac{4.58 + 4.17 + 0.44}{3} = 3.06\%$$

Haciendo un análisis de las tasas de crecimiento de población, TPDA = 4.58% , PIB=4.17% y POB= 0.44%, se procede a promediar para llegar a una tasa adecuada, en nuestro caso TCA= 3.06% es el valor a utilizar para los futuros cálculos, a su vez, al comparar esta tasa de con la de la Estación de Mayor Cobertura del año 2020 que es 6.74%, se seleccionaría 3.06% al ser el dato menor.

Se realizó una proyección con una expectativa de 20 años (**Ver Anexo, Tabla 39, p. XXV-XXVI**), por las obras ejecutadas por el Fondo de Mantenimiento Vial, esta proyección será la referencia para determinar los años de vida útil de acuerdo con la capacidad estructural que se obtenga por el retrocalculo.

# **CAPITULO IV**

## **FACTORES DE CARGA**

### **EQUIVALENTE**



## **CAPITULO IV: FACTORES DE CARGA EQUIVALENTE**

Las cargas de los vehículos son transmitidas al pavimento mediante dispositivos de apoyo (eje simple, eje tándem y eje trídem), para distribuir la carga total sobre una mayor superficie. El método de Factores de Equivalencia de Carga (FEC) es utilizado para normalizar los efectos que los vehículos pesados ejercen sobre el pavimento.

Además, son valores numéricos que transforman las repeticiones de un eje cualquiera, a un número de repeticiones del eje patrón que causan el mismo efecto daño sobre el pavimento que el daño causado por ese eje cualquiera.

### **4.1 Tipos de eje**

El tránsito usuario es el que implanta las solicitudes que deben ser soportadas por la estructura del camino. Estos suelen anexarse en categorías, siendo la más habitual la siguiente:

- a. Los vehículos livianos (automóviles, camionetas)
- b. Buses urbanos como inter-urbanos y camiones de dos ejes
- c. Camiones de más de dos ejes y camiones articulados (tráiler y semitrailer etc.)

Huang Y. (2004), indican que: “Para entender la clasificación de los vehículos, se definen algunos como” (p.76):

#### **4.1.1 Eje Simple**

Es el que está compuesto por dos ruedas, una en cada extremo del eje.

**Figura N° 12. Eje Simple**

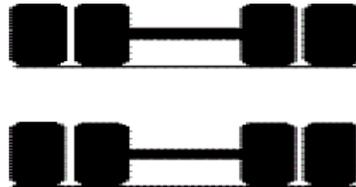


Fuente: Huang Y., 2004, p.76

#### 4.1.2 Ejes Tándem:

Es el conjunto de dos ejes simples de ruedas dobles con una separación de centros comprendidos entre 1.00 y 2.45 metros.

**Figura N° 13. Eje Tándem**

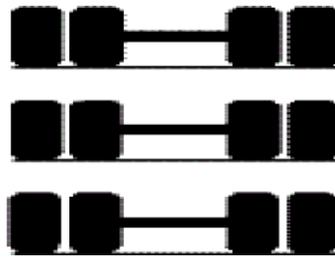


Fuente: Huang Y., 2004, p.78

#### 4.1.3 Ejes Trídem

Es el conjunto de tres ejes simples de ruedas dobles con una separación de sus centros comprendida entre 1.00 y 2.45 metros.

**Figura N° 14. Eje Tridem**



Fuente: Huang Y., 2004, p.79

Los tipos de vehículo de transporte de carga que circulan a través de la infraestructura vial, se clasifican de acuerdo a la configuración que cada uno de ellos tienen en sus ejes y a las posibles combinaciones que se realicen las cuales están restringidas por el diagrama permisible de cargas vigentes. Los tipos de vehículos son los siguientes:

- C-2: Camión consiste en un auto motor con eje simple (eje direccional) y un eje simple de rueda doble (eje de tracción)
- C-3: Camión consiste en un auto motor con eje simple (eje direccional) y un eje doble o tándem (eje de tracción)
- C-4: Camión consiste en un auto motor con eje simple (eje direccional) y un triple (eje de tracción)

- T-2: Tractor o cabezal con un eje simple (eje direccional) y un eje simple de rueda doble (eje de tracción)
- T-3: Tractor o cabezal con un eje simple (eje direccional) y un eje doble o tándem (eje de tracción)
- T-4: Tractor o cabezal con un eje simple (eje direccional) y un eje doble o tándem (eje de tracción)
- S-1: Semirremolque con un eje trasero simple de rueda doble
- S-2: Semirremolque con eje trasero doble (tándem)
- S-3: Semirremolque con eje trasero triple
- S-4: Semirremolque con eje trasero cuádruple
- R-2: Remolque pesado o liviano compuesto de un eje delantero simple de rodado doble y un eje trasero simple de rodado doble.
- R-3: Remolque pesado o liviano compuesto de un eje delantero simple de rodado doble y un eje trasero doble de rodado doble.
- R-4: Remolque pesado o liviano compuesto de un eje delantero doble de rodado doble y un eje trasero doble de rodado doble.

Conociendo la razón del crecimiento del tráfico podremos trazar los diferentes espectros de ejes de cargas que circulan en la vía, utilizando básculas de pesos permanentes y móviles para el caso de vehículos pesados. Si no se dispone de estas básculas, se utilizan las estadísticas de caminos con similares condiciones de uso y diseño. Los vehículos de carga además de ser pesados, su peso bruto (tara) excede las 5 toneladas métricas, son en general más lentos y ocupan más espacio en la calzada motivo por el cual desde el punto de vista de diseño de pavimento y geométrico son de mayor interés que el resto de los vehículos que puedan circular con una carga inferior (motocicletas, automóviles, jeeps y camionetas), debido a que provocan un efecto mínimo sobre el pavimento.

Es fundamental hacer notar que la marca de vehículo de carga influye en la distribución del peso por eje, afectando a veces los límites permitidos a nivel nacional. A continuación, en la Tabla 23, se expone los pesos máximos permisibles por tipo de vehículo.

Tabla N° 23. Pesos Máximos permisibles por tipo de vehículos



**DIAGRAMA DE CARGAS PERMISIBLES**  
**PESOS MÁXIMOS PERMISIBLES POR TIPO DE VEHÍCULOS**

TIPO DE VEHICULOS	ESQUEMAS DE VEHICULOS	PESO MAXIMO AUTORIZADO						Peso Maximo Total (t) Ton - Met.
		1er. Eje	2do. Eje	3er. Eje	4to. Eje	5to. Eje	6to. Eje	
C2		5.00	10.00					15.00
C3		5.00	16.50					21.50
			8.25	8.25				
C4		5.00	20.00					25.00
			6.67	6.66	6.66			
T2-S1		5.00	9.00	9.00				23.00
T2-S2		5.00	9.00	16.00				30.00
				8.00	8.00			
T2-S3		5.00	9.00	20.00				34.00
				6.67	6.66	6.66		
T3-S1		5.00	16.00		9.00			30.00
			8.00	8.00				
T3-S2		5.00	16.00		16.00			37.00
			8.00	8.00	8.00	8.00		
T3-S3		5.00	16.00		20.00			41.00
			8.00	8.00	6.67	6.66	6.66	
C2-R2		4.50	9.00	4.0 a	4.0 a			21.50
		4.50	9.00	6.5 b	6.5 b			26.50
C3-R2		5.00	16.00		4.0 a	4.0 a		29.00
		5.00	8.00	8.00	6.5 b	6.5 b		34.00
C3-R3		5.00	16.00		4.0 a	5.0 a	5.0 a	35.00
		5.00	8.0 b	8.0 b	6.5 b	5.0 b	5.0 b	37.50

NOTA: El peso máximo permisible será el menor entre el especificado por el fabricante y el contenido en esta columna.

a : Eje sencillo llanta sencilla.  
 b : Eje sencillo llanta doble.

Fuente: Dirección General de Vialidad MTI

## 4.2 Criterio para determinar Serviciabilidad

En el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (2002), se menciona que la Serviciabilidad es una de las variables que se tienen que considerar en el diseño de pavimento flexible.

La Serviciabilidad o también llamada servicapacidad, denominada como ( $\rho$ ), de una estructura de pavimento, es la capacidad que tiene éste de servir al tipo y volumen de tránsito para el cual fue diseñado. La medida fundamental, tal como fue establecida en el Experimento Vial de la AASHTO, es el índice de Servicapacidad Actual (PSI), y que puede variar entre los rangos de 0 (malas condiciones) y 5 (perfecto). (p.142)

Es necesario calcular  $\rho_0$  y  $\rho_t$ , para conocer el cambio total que será incorporado en la ecuación de diseño.

### 4.2.1 Servicapacidad inicial ( $\rho_0$ )

Esta es en función del diseño de pavimento y del grado de calidad durante la construcción. El valor establecido en el Experimento Vial de la AASHTO 93 para el pavimento flexible es de 4.2.

### 4.2.2 Servicapacidad Final ( $\rho_t$ )

Es el valor más bajo que puede ser tolerado por los usuarios de la vía antes de que sea necesario el tomar acciones de rehabilitación, reconstrucción o repavimentación, y generalmente varía con la importancia o clasificación funcional de la vía cuyo pavimento se diseña, y son normalmente los siguientes:

- Para vías con características de autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico

Se encuentra entre este rango:

$$\rho_t = 2.5 - 3.0$$

- Para vías con características de autopista urbanas y troncales de intensidad de tráfico normal, así como para autopistas Interurbanas:

Puede estar entre

$$\rho t = 2.0 - 2.5$$

○ Para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas se toma un valor de:  
Esta entre el siguiente rango

$$\rho t = 1.8 - 2.0$$

Los valores que se recomiendan por experiencia son los siguientes:

$\rho t = 2.5$  o más para caminos principales

$\rho t = 2.0$  para caminos de tránsito menor

Debido a que la carretera en la que se encuentra el tramo estudiado en esta Monografía está caracterizada como Colectora Principal, entonces el valor que le corresponde a  $\rho t$  es de 2.5.

Según Coronado J. (2002): “El valor de diseño para el criterio de comportamiento que se introduce en la ecuación de diseño es la diferencia entre  $\rho_0$  y  $\rho t$ , así como se expresa en la Ecuación 22:

$$\Delta PSI = \rho_0 - \rho t \quad \text{Ec. 21}$$

Utilizando esta fórmula se concluye que el valor de diseño será:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.5$$

$$\Delta PSI = 1.70$$

### **4.3 Factor Equivalente de Daño o Carga (FEC)**

El Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (2002) expresa lo siguiente respecto al Factor Equivalente de Daño o Carga:

Es el concepto de convertir un tránsito mixto en un número de estándar ESAL's de 80 kN que expresa el daño acumulado por el tránsito vehicular, fue desarrollado en el Road Test de la AASHTO, en este ensayo se

cargaron pavimentos similares con diferentes configuraciones de ejes y cargas para analizar el daño producido. (p.43)

A continuación, se detalla la ecuación para obtener los diferentes Factores Equivalentes de Cargas por tipo de vehículo:

$$FEC = \frac{Wt_{18}}{Wt_x} \quad \text{Ec. 22}$$

AASHTO 93, menciona que la fórmula para poder calcular los Factores de daño, está expresada por la Ecuación 23.

$$\log \left( \frac{Wt_x}{Wt_{18}} \right) = 4.79 \log (18 + 1) - 4.79 \log(Lx + L2) + 4.33 \log \log (L2) + \frac{G_t}{B_x} - \frac{G_t}{B_{18}} \quad \text{Ec. 23}$$

$$B_x = 0.4 + \frac{0.08(Lx + L2)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19} * L2^{3.23}} \quad \text{Ec. 24}$$

$$B_{18} = 0.4 + \frac{0.08(18 + 1)^{3.23}}{(SN + 1)^{5.19}} \quad \text{Ec. 25}$$

$$G_t = \log \left( \frac{4.2 - Pt}{4.2 - 1.5} \right) \quad \text{Ec. 26}$$

Donde:

Wt18: Número de ESAL's de 80KN que producen una pérdida de Serviciabilidad.

Wtx: Número de ejes de 80KN que producen la misma perdida de Serviciabilidad.

$B_x$  y  $B_{18}$ : Representa la función del diseño y de las cargas que influyen en la Serviciabilidad Pt

SN: Numero estructural

Lx: Carga en kips sobre los diferentes tipos de ejes

L2: Código para las cargas (1,2,3)

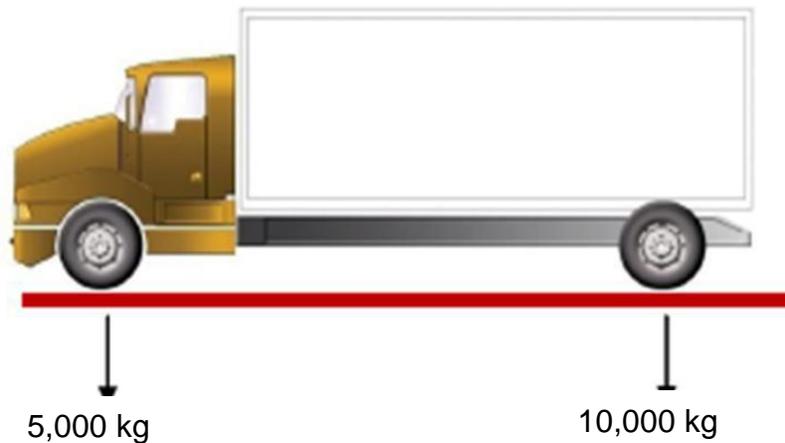
Cada uno de estos términos ayuda a magnificar el FEC a manera de cálculo (No interpolando con las típicas tablas del Manual AASHTO), ya que, a través del cálculo, obtenemos un valor más próximo para cada tipo de eje.

Para poder determinar el Factor Equivalente de Daño a través de esta fórmula, es preciso destacar, que los valores de  $L_x$ , son la sumatoria de las cargas registradas por eje de cada tipo de vehículo pesado. La información utilizada, es dada por la Báscula de Lóvago (**Ver Anexo, Tabla 40-43, p. XXVII-XXX**); mediante el percentil 80, se usa este percentil, para obtener un valor representativo, este mismo criterio fue utilizado en la Cuenta Reto del Milenio. Por otro lado, también se tomó en cuenta, el valor de Serviciabilidad y se asume un número estructural 4 como parámetro de diseño, el cual será confirmado con posterioridad, en caso de que no cumpla, se ejecuta una nueva iteración.

$Pt = 2.5$	$L2 = 1$ Eje Simple
$SN = 4$	$L2 = 2$ Eje Tandem
$L2=1,2,3$	$L2 = 3$ Eje Tridem

A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo de Factor Equivalente de Carga, tomando de ejemplo un camión C2, tenemos lo siguiente:

**Figura N° 15. Camión C2**



Fuente: Elaboración propia

Para poder efectuar el cálculo, es necesario expresar las cargas en kips.

$$1 \text{ kg} \rightarrow 0.002204623 \text{ kips}$$

Eje simple 1

$$P1 = 5000 \text{ kg} \left( \frac{0.002204623 \text{ kips}}{1 \text{ kg}} \right) = 11.023 \text{ kips}$$

Eje simple 2

$$P2 = 10000 \text{ kg} \left( \frac{0.002204623 \text{ kips}}{1 \text{ kg}} \right) = 22.046 \text{ kips}$$

Sabiendo que SN=4 y Pt=2.5 y haciendo uso de Tabla D.4 de AAHSTO 93, tenemos lo siguiente:

Para el eje simple 1

Carga	FEC
10	0.102
11.023	x
12	0.213

$$FEC_1 = 0.102 + \left( \frac{0.213 - 0.102}{12 - 10} \right) (11.023 - 10) = 0.159$$

Para el eje simple 2

Carga	FEC
22	2.09
22.046	x
24	2.89

$$FEC_2 = 2.09 + \left( \frac{2.89 - 2.09}{24 - 22} \right) (22.046 - 22) = 2.108$$

El Factor Camión correspondiente a este vehículo es la sumatoria de los FEC de cada eje:

$$FC = FEC_1 + FEC_2$$

$$FC = 0.159 + 2.108 = 2.267$$

Haciendo uso de las Ecuaciones 22-26, se presenta:

Eje 1

$$B_x = 0.4 + \frac{0.08(11.023 + 1)^{3.23}}{(4 + 1)^{5.19} * (1)^{3.23}} = 0.458$$

$$B_{18} = 0.4 + \frac{0.08(18 + 1)^{3.23}}{(4 + 1)^{5.19}} = 0.6545$$

$$G_t = \log \left( \frac{4.2 - 2.5}{4.2 - 1.5} \right) = -0.201$$

$$\log \left( \frac{Wt_x}{Wt_{18}} \right) = 4.79 \log (18 + 1) - 4.79 \log(11.023 + 1) + 4.33 \log (1) - \frac{0.201}{0.458} + \frac{0.201}{0.6545}$$

$$\log \left( \frac{Wt_x}{Wt_{18}} \right) = 0.8202082421$$

$$FEC_1 = \frac{Wt_{18}}{Wt_x} = 0.14$$

Eje 2

$$B_x = 0.4 + \frac{0.08(22.046 + 1)^{3.23}}{(4 + 1)^{5.19} * (1)^{3.23}} = 0.875$$

$$B_{18} = 0.6545$$

$$G_t = -0.201$$

$$\log \left( \frac{Wt_x}{Wt_{18}} \right) = 4.79 \log (18 + 1) - 4.79 \log(22.046 + 1) + 4.33 \log (1) - \frac{0.201}{0.875} + \frac{0.201}{0.6545}$$

$$\log \left( \frac{Wt_x}{Wt_{18}} \right) = -0.3242125978$$

$$FEC_2 = \frac{Wt_{18}}{Wt_x} = 2.93$$

$$FC = 0.14 + 2.93 = 3.07$$

El resultado es la sumatoria de los Camiones C2 menores de 5 toneladas y mayores a 5 toneladas. Los factores de daño para vehículos livianos corresponden a controles generales realizados por el MTI en la red principal, sin embargo, los vehículos pesados que 11. tienen la mayor contribución en el daño se determinaron según los registros de 3 meses, de la báscula de Lóvago. **(Ver Anexo, Tabla 44, p.XXXI)**

#### 4.4 Ejes Equivalentes (ESAL'S)

Los Ejes Equivalentes son denominados como ESAL's (Equivalent Simple Axial Load), según AASHTO (1993) para el periodo de diseño representa: "El número de ejes acumulados desde que la carretera fue abierta al tráfico hasta que la serviciabilidad (servicapacidad) ha reducido hasta su valor mínimo". (p.31). La ecuación que se utiliza para el cálculo de estos, será en función al TPDA proyectado y los factores de carga equivalente, se expresa de la siguiente manera:

$$ESAL = TPDA * FEC * 365 \quad \text{Ec. 27}$$

Donde:

TPDA=Tránsito Promedio Diario Anual

FEC=Factor equivalente de daño o de carga

A continuación, se presenta un ejemplo de cómo se hace el cálculo de ESAL's respecto a los Autos en el primer año proyectado:

$$ESAL_{2022_{Autos}} = 210 \text{ veh/día} * 0.0002 * 365 = 15 \text{ ejes acumulados}$$

Al obtener dicha proyección **(Ver Anexo, Tabla 45, p. XXXII-XXXIII)**, podemos decir que la cantidad de ESAL's que existirá en el año 2041, correspondiendo a los 20 años proyectados es de 3,486,044 ejes acumulados.

# **CAPITULO V**

## **CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y VIDA REMANENTE**



## **CAPITULO V: CAPACIDAD ESTRUCTURAL Y VIDA REMANENTE**

### **5.1 Retro cálculo método AASHTO**

AASHTO (1993) menciona que el propósito del retrocálculo es:

Obtener los módulos elásticos de las capas del pavimento, en donde intervienen o son requeridos datos de auscultación medidos en campo como son, las deflexiones (respuesta del pavimento ante la aplicación de una carga) obtenidas con Deflectómetro de impacto (p.258)

Existen dos tipos de métodos para realizar el retrocálculo. El primer método es el estático, considera que la carga aplicada a la superficie del pavimento es una carga estática y se puede realizar de tres maneras distintas. La primera se basa en técnicas de iteración, la segunda en la búsqueda de una base de datos de cuencas de deflexión, y la tercera en el uso de ecuaciones de regresión ajustadas a una base de datos de cuencas de deflexión.

El otro método es el dinámico, se basa en soluciones de frecuencia o tiempo. La carga aplicada y el historial de tiempo de las mediciones de deflexión se transforman en el dominio de frecuencia usando la transformada rápida de Fourier (FFT).

El método de retrocálculo a utilizar en esta monografía es el estático, basado en la técnica de iteración, haciendo uso del software de nombre Divap 2.3, el cual resuelve ecuaciones para cálculo de módulos resilientes y módulo efectivo del pavimento, entre otras ecuaciones.

Para el método no destructivo, AASHTO 93 plantea el uso de las siguientes fórmulas, a su vez, Dipav trabaja con AASHTO 93, por ende, ocupa las mismas fórmulas.

### a. Módulo efectivo del pavimento (Ep)

Este método es utilizado por AASHTO 93, se basa en representar el pavimento por un modelo bicapa: la inferior con profundidad infinita y módulo MR, que representa a la subrasante, y la superior el propio pavimento en su conjunto, con un espesor total D y un módulo equivalente Ep.

Está determinado por el valor de la deflexión medida en el centro del plato de carga (Do) mediante la siguiente ecuación:

$$d_0 = 1.5pa \left[ \frac{1}{M_R \sqrt{1 + \left( \frac{D}{a} * \sqrt[3]{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2}} + \frac{1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{D}{a} \right)^2}}}{E_p} \right] \quad \text{Ec. 28}$$

Donde:

P: Presión de contacto (N)

a: Radio del plato de carga (mm)

D= Espesor total de las capas del pavimento sobre la subrasante (mm)

d0: Deflexión máxima corregida por carga y temperatura

MR= Módulo resiliente de la subrasante por retro cálculo (Kpa)

Ep= Módulo efectivo de las capas que conforman el pavimento (Kpa)

Se sabe que:

$$P = 40KN * 1000 \rightarrow 4000N$$

$$a = 15 \text{ cm} * 10 = 150 \text{ mm}$$

El espesor total de las capas (D), se encuentra promediando los espesores de la estructura de pavimento de sondeo realizadas por el FOMAV, estos sondeos fueron expuestos en la donde se refleja el espesor de cada capa (**Ver Anexo, Figura 46, p. XXXIV-XL**). A continuación, se presenta una tabla donde expone el promedio correspondiente.

**Tabla N° 24. Espesores de la estructura de pavimento**

Estaciones	Espesor del pavimento(cm)
234+800	44
235+500	54
235+800	54
236+400	49
236+800	40
Promedio	48.2

Fuente: Elaboración propia, 2021

Como resultado, podemos observar que el promedio de los espesores de la estructura de pavimento se puede expresar en 48 cm que sería 480 mm respectivamente. El valor de Deflexión Máxima ( $D_{m\acute{a}x}$  o  $D_0$ ), fue corregido previamente (**Ver Anexo, Tabla 32, p. IX-XIII**)

A como puede ser visto, el único valor faltante es  $E_p$ , por ende, se despeja la ecuación y previo a ingresar los valores restantes, el Dipav 2.3 lo calcula haciendo iteraciones en las estaciones realizadas, (**Ver Anexo, Tabla 46, p. XXXIV-XL**).

### **b. Módulo de Resiliente**

Manual Centroamericano para Diseño de pavimento (2002) menciona que:

A distancias suficientemente grandes de la carga, las deflexiones medidas en la superficie del pavimento se deben únicamente a la deformación de la subrasante y también son independientes del tamaño de la placa de carga. Esto permite el retro cálculo del módulo elástico de la subrasante, a partir de una sola medición de deflexión y la magnitud de la carga, usando la siguiente ecuación:

$$M_R = \frac{0.24P}{d_r r} \quad \text{Ec. 29}$$

Donde:

$M_R$  = módulo resiliente de la subrasante (psi)

$P$  = carga aplicada en libras

$d_r$  = deflexión medida a una distancia  $r$  de la placa en pulgadas

$r$  = distancia al punto de medida en pulgada

Al tener el valor del Módulo Resiliente mediante el retrocálculo, (**Ver Anexo, Tabla 46, p. XXXIV-XL**) se puede calcular el Módulo Efectivo del pavimento, el cual se menciona anteriormente, que fue calculado mediante el software de nombre Dipav 2.3 AASHTO (1993), recomienda que: “El Módulo Resiliente retrocalculado sea multiplicado por un factor corrección  $C=0.33$  para determinar el número estructural (SN) con propósito de diseño para el FWD” (p.279). Entonces, la fórmula queda de la siguiente manera:

$$M_R = C \frac{0.24P}{d_r r} \quad \text{Ec. 30}$$

Este último, es el que se debe de utilizar en la ecuación de diseño de una carretera y ocuparlo en el software de nombre AASHTO.

Utilizando la Estación 234+000, sustituimos los valores en la Ecuación 30, tenemos lo siguiente:

$$M_R = 0.33 * 121,212 \text{ MPa} = \frac{39999.96 \text{ kPa}}{1,000} = 40 \text{ Mpa}$$

### c. Número Estructural Efectivo

Por otro lado, también es importante determinar el valor del Número Estructural efectivo (S<sub>Neff</sub>) página 90 Manual dipav

Se determina a partir de la ecuación 32:

$$SN_{eff}(\text{pulg}) = 0.0045D\sqrt[3]{E_p}$$
$$SN_{eff}(\text{mm}) = 0.0024D\sqrt[3]{E_p} \quad \text{Ec. 31}$$

Donde:

D= Espesor total de todas las capas

S<sub>Neff</sub>= Número Estructural efectivo

E<sub>p</sub> =Módulo efectivo calculado por el retrocalculo

El valor a utilizar es en mm, es necesario destacar que el software Dipav 2.3, da los resultados de E<sub>p</sub> en Kpa (Kilo pascal), por ende, se hace una corrección de medidas, dividiendo toda la expresión entre 25.4, lo que equivale a 1 pulgada en mm (**Ver Anexo, Tabla 46, p. XXXIV-XL**). A continuación, se presenta un ejemplo del cálculo del número estructural:

$$SN_{eff_{234+000}} = 0.0024 * (480 \text{ mm}) * \sqrt[3]{(454,707.00 \text{ Kpa})} = 88.58 \text{ mm}$$

$$SN_{eff_{234+000}} = 88.58 \text{ mm} * \left( \frac{1 \text{ pulg}}{25.4 \text{ mm}} \right) = 3.49 \text{ pulg}$$

Posteriormente, al tener todos los resultados generados por Dipav 2.3 y hacer las correcciones necesarias para que el software de nombre AASHTO 93 pueda reconocer los datos, se procede a realizar el promedio tanto de los valores corregidos de  $M_R$  como los de S<sub>Neff</sub>, los cuales son los siguientes:

$$M_R = 60 \text{ Mpa} \rightarrow 8702.26 \text{ psi}$$

$$SN_{eff} = 3.69 \text{ pulg}$$

## 5.2 Vida Remanente del Pavimento

Coronado (2002) en el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos menciona que la vida remanente es una de las variables que se tienen que considerar para el diseño de pavimento flexible y lo explica de la siguiente manera:

Es aquel tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el momento en que alcanza el mínimo de serviciabilidad. El período de diseño puede llegar a ser igual a la vida útil de un pavimento; en los casos en que se consideren reconstrucciones o rehabilitaciones a lo largo del tiempo, el período de diseño

comprende varios períodos de vida útil que son: el de pavimento original y el de las rehabilitaciones.

Se recomiendan períodos de diseño, como se expresan en la Tabla N° 25

**Tabla N° 25. Períodos de diseño**

Tipo de Carretera	Periodo de Diseño
Autopista Regional	20-40 años
Troncales suburbanas	15-30 años
Troncales Rurales	
Colectoras Suburbanas	10-20 años
Colectoras Rurales	

Fuente: Manual Centroamericano de Diseño de Pavimento, 2002, p.142

Ya que el tramo expuesto en esta monografía, es clasificado como colectoras rural, el periodo de diseño esta entre 10 y 20 años, los cual, es importante mencionar que el FOMAV quien fue el ente encargado del mantenimiento de dicha carretera, diseño para 10 años.

A continuación, se hace uso de la ecuación de diseño para determinar mediante ciertos parámetros la vida útil del pavimento.

$$(W_{18}) = Z_R S_0 + 9.36(SN + 1) - 0.2 + \frac{\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32(M_R)$$

- 8.07    **Ec. 32**

Donde:

W18: Número acumulado de ejes de simples equivalentes a 18000 lb (80 KN)

Z<sub>R</sub>: Coeficiente estadístico de desviación estándar normal

S<sub>0</sub>: Desviación estándar combinada

M<sub>r</sub>: Módulo de resiliente (psi)

PSI: índice de serviciabilidad presente

SN=Número Estructural

Los valores de  $M_r$  y  $SN$ , fueron calculados en el apartado anterior, correspondiendo a sección 5.1, los cuales dan como resultado:

$$SN = 3.69 \text{ pulg}$$

$$M_R = 8702.26 \text{ psi}$$

El valor de  $PSI$ , fue calculado en la sección 4.2, dando como resultado:

$$PSI = 1.70$$

Posteriormente se determina los parámetros que hacen falta conocer y se ejecutan de la siguiente manera:

**a. Nivel de confiabilidad (R)**

En el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos (2002) se menciona la definición de Confiabilidad como: “El grado de seguridad o veracidad de que el diseño de la estructura de un pavimento, puede llegar al fin de su periodo de diseño en buenas condiciones”. (p.142)

Mediante la siguiente tabla, se demuestran los parámetros de Confiabilidad, dependiendo de la clasificación funcional de la carretera y si está en una zona rural o urbana.

**Tabla N° 26. Nivel de Confiabilidad por Clasificación Funcional**

Clasificación funcional	Confiabilidad (%) - R	
	Urbano	Rural
Interestatal y autopistas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-95
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: AASHTO, 1993, p.99

Ya que la carretera está clasificada como Colectora Principal, en una zona Rural, entonces el rango de Confiabilidad que le corresponde es entre 75% y 95%, en nuestra monografía, utilizaremos el promedio de las mismas, siendo  $R = 85\%$ .

## b. Coeficiente estadístico de desviación estándar normal

El Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento (2002) define que:

Para un conjunto de variables (espesor de las capas, características de los materiales, condiciones de drenaje, etc.) que intervienen en un pavimento, el tránsito que puede soportar el mismo a lo largo de un período de diseño sigue una ley de distribución normal en función de un nivel de confiabilidad R. (p.193)

Al conocer el porcentaje de Confiabilidad que le corresponde a la carretera según su función estructural y en qué zona (urbana o rural) está ubicada, podemos determinar el coeficiente estadístico de desviación estándar normal haciendo uso de la siguiente tabla:

**Tabla N° 27. Valores de Zr en función de la confiabilidad R**

Confiabilidad R %	Desviación normal estándar Zr
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.34
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.09
99.99	-3.75

Fuente: Elaboración propia. Tabla 4.1, AASHTO, 1993, p,84

Sabiendo que la Confiabilidad R utilizada es 85%, la Desviación normal estándar  $Z_r$  que le corresponde es -1.037.

$$Z_r = -1.037$$

### c. Desviación estándar combinada

Para la desviación estándar ( $S_o$ ), en el Manual Centroamericano para Diseño de Pavimento (2002) se recomienda utilizar los valores comprendidos dentro de los intervalos siguientes:

Para pavimento flexible 0.40-0.50

En construcción nueva 0.35-0.40

En sobre-capas 0.50

Ya que la carretera es de pavimento flexible, entonces utilizaremos un promedio de los intervalos 0.40 a 0.50, siendo este 0.45, entonces:

$$S_o = 0.45$$

Al tener todos estos resultados requeridos para evaluar el W18 presentados en la Tabla N° 28, procedemos a utilizar un software de nombre AASHTO como es mostrado en la Figura 16.

**Tabla N° 28. Resumen de Resultados**

Parámetros de W18	Resultados
Mr	8702.26 psi
SN	3.69 pulg
PSI	1.7
R	85%
$Z_r$	-1.037
$S_o$	0.45

Fuente: Elaboración propia,2021.

Figura N° 16. Resultado de W18

The screenshot shows the 'Ecuación AASHTO 93' software interface. It is divided into several sections:

- Tipo de Pavimento:** Radio buttons for 'Pavimento flexible' (selected) and 'Pavimento rígido'.
- Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So):** A dropdown menu set to '85 % Zr=-1.037' and a text box for 'So' with the value '0.45'.
- Serviciabilidad inicial y final:** Text boxes for 'PSI inicial' (4.2) and 'PSI final' (2.5).
- Módulo resiliente de la subrasante:** A text box for 'Mr' with the value '8702.26 psi'.
- Información adicional para pavimentos rígidos:** Four empty text boxes for 'Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)', 'Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)', 'Coeficiente de transmisión de carga - (J)', and 'Coeficiente de drenaje - (Cd)'.
- Tipo de Análisis:** Radio buttons for 'Calcular SN' and 'Calcular W18' (selected). The result 'SN =' is shown as '3.69'.
- Ejes de 18 kips:** The result 'W18 =' is shown as '2635838'.

At the bottom, there are two buttons: 'Calcular' and 'Salir'.

Fuente: Elaboración propia

Teniendo el valor de W18, podemos determinar el número acumulado de ejes simples equivalentes, es necesario hacer uso de cálculos de proyección de Ejes Equivalentes (ESAL'S), para poder establecer cuantos años puede durar el pavimento en las condiciones que se presentan actualmente, utilizando los factores presentados a continuación:

- Factor Distribución por Dirección

Coronado (2002), especifica que el factor de distribución por dirección, es el factor del total del flujo vehicular, en la mayoría de los casos el valor es de 0.50, haciendo énfasis, que la mitad de vehículos va en una dirección y la otra mitad en otra

dirección, esto para una vía de dos carriles, por lo que dicho valor, se implementará en el tramo en estudio.

- Factor Distribución por Carril

Se define por el carril de diseño aquel que recibe el mayor número de ESAL's. Para un camino de dos carriles, cualquiera de las dos puede ser el carril de diseño, ya que el tránsito por dirección forzosamente se canaliza por ese carril. Para caminos de varios carriles, el de diseño será el externo, por el hecho de que los vehículos pesados van en ese carril.

**Tabla N° 29. Factor Distribución por Carril**

<b>Número de carriles en una sola dirección</b>	<b>FC</b>
1	1.00
2	0.80-1.00
3	0.60-0.80
4	0.50-0.75

Fuente: Elaboración propia

En el caso del tramo en estudio, el Factor Carril a utilizar es de 1.00, debido a que la calzada tiene dos carriles, uno en cada dirección. Para determinar la cantidad de ejes acumulados por año proyectado, es necesario hacer uso de los factores Carril y Dirección, de esta manera determinar el ESAL de diseño, así como se muestra en la Tabla 30.

**Tabla N° 30. ESAL'S acumulado por año proyectado**

<b>Año</b>	<b>ESAL</b>	<b>ESAL Acumulado</b>	<b>Factor Dirección</b>	<b>Factor Carril</b>	<b>ESAL de Diseño</b>
2021	241,564	241,564	0.5	1	120,782
2022	248,956	490,521	0.5	1	245,260
2023	256,574	747,095	0.5	1	373,547
2024	264,425	1,011,520	0.5	1	505,760
2025	272,517	1,284,037	0.5	1	642,019
2026	280,856	1,564,893	0.5	1	782,446
2027	289,450	1,854,343	0.5	1	927,172
2028	298,307	2,152,650	0.5	1	1,076,325
2029	307,435	2,460,086	0.5	1	1,230,043
2030	316,843	2,776,929	0.5	1	1,388,464
2031	326,538	3,103,467	0.5	1	1,551,734
2032	336,530	3,439,997	0.5	1	1,719,999
2033	346,828	3,786,826	0.5	1	1,893,413
2034	357,441	4,144,267	0.5	1	2,072,133
2035	368,379	4,512,646	0.5	1	2,256,323
2036	379,651	4,892,297	0.5	1	2,446,149
2037	391,269	5,283,566	0.5	1	2,641,783
2038	403,241	5,686,807	0.5	1	2,843,404
2039	415,581	6,102,388	0.5	1	3,051,194
2040	428,297	6,530,685	0.5	1	3,265,343
2041	441,403	6,972,089	0.5	1	3,486,044

Fuente: Elaboración propia

Teniendo todo lo anteriormente expuesto, se puede señalar que los años que durará el pavimento reciclado en las condiciones actuales, tomando en cuenta el valor de W18 determinado por el software AASHTO 93 y el ESAL de diseño, será de 16 años, es decir que la vida útil del pavimento será hasta el año 2037, teniendo 2,641,783 ejes acumulados.

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CONCLUSIONES

- **Resistencia de Pavimento**, se concluye que el pavimento es débil, debido a que en el cálculo de la Relación de Deflexión (RD), denotando la capacidad estructural de la capa superior, resultó que el 95% de las medidas no son adecuadas, por otro lado, al evaluar el  $D_{m\acute{a}x}$  se determinó que la subrasante es resistente, sin embargo, algunos indicadores tomados en cuenta divergen, como la Relación de la Deflexión (RD), el Índice de Forma (F2), Módulo de Resiliencia (MRD), ya que estos son específicos para evaluar vías con alta demanda de tránsito o bien, pavimentos con espesores más anchos.
- **Estudio de Tránsito**, se determinó que en la actualidad el TPDA ha incrementado respecto a años anteriores, en el 2007 se registró 536 vehículos y el 2020 reporta 959 vehículos, tomando en cuenta los registros históricos de tráfico, PIB y poblacional, se obtuvo una tasa de crecimiento vehicular de 4.58%, PIB de 4.17% y tasa de crecimiento poblacional de 0.44%, dando como resultado un promedio de 3.06%.
- **Factores de Carga Equivalente**, al obtener la proyección de TPDA y haciendo uso de los Factores Equivalentes proporcionados por la Báscula de Lóvago, podemos decir que, en el año 2041, correspondiendo a los 20 años proyectados se presentará 3,486,044 ESAL's
- **Capacidad Estructural y Vida Remanente**, se hizo uso de dos software, uno de nombre Dipav 2.3 el cual permitió realizar el retrocálculo estableciendo el Módulo Resiliente (MR), Módulo Efectivo (EP) y Capacidad Estructural (SN) y otro llamado AASHTO 93 se determinó el valor de W18 siendo la ecuación de diseño y así conocer en número acumulado de ejes simples equivalentes, utilizando el ESAL'S de diseño para poder establecer la vida útil del pavimento en las condiciones que se presentan actualmente. En base a todo lo anteriormente expuesto se puede señalar que los años que durará el pavimento reciclado en las condiciones actuales, será de 16 años.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda el uso de las emulsiones asfálticas aplicadas en el reciclado en frío, para aumentar las resistencias que alcanzan los materiales estabilizados sin llegar a los agrietamientos, tomando en cuenta las experiencias extranjeras y la presentada en la monografía ya que han llevado a obtener excelentes resultados en el reciclaje de pavimentos, por lo que se considera importante conocer acerca de su uso y poderlas aplicar en otras carreteras de nuestro país.
- El Uso de Deflectómetro de Impacto ya que es un método no destructivo, rápido y económico, el cual permite evaluar objetivamente in situ, tanto el soporte de la subrasante como la resistencia del pavimento.
- Es recomendable el uso del software de nombre Dipav 2.3 y AASHTO 93, para facilitar la realización del retrocálculo y determinación del número de ejes simples equivalentes.
- Ya que la carpeta de rodamiento actual es de 4 cm y la vida útil es de 16 años, es recomendable utilizar el Manual Centroamericano de Diseño de Pavimento, el cual sugiere una carpeta de rodamiento con espesor mínimo de 9 cm equivalente a la cantidad de ESAL's proyectados al 2041 para garantizar que la vida útil de la carretera dure los 20 años según el periodo de diseño.

## BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

### Bibliografía

- AASHTO. (1993). *Guía para diseño de estructuras de pavimento*. Washington D.C: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Asphalt Institute. (2001). *Manual Básico de Emulsiones Asfálticas*. USA: AEMA: Asphalt Emulsion Manufacturers Association.
- Banco Central de Nicaragua, B. (2020). *Anuario Estadístico Macroeconómico*.
- Beltrán, G., & Romo, M. (2012). Análisis de índices derivados de pruebas de deflexión por impacto para evaluación de pavimentos. *Pruebas no Destructivas*, 26(1).
- Coronado, J. (2002). *Manual Centroamericano de Diseño de Pavimento*.
- Granados, F., & Avellán, D. (2020). *Red Vial de Nicaragua*. Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.
- Granados, F., Avellán, D., & Tapia, M. (2020). *Anuario de Aforo de Tráfico*. Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.
- Horak, E. (2008). Evaluación comparativa de condición estructural de pavimento flexible con parámetros de deflexión. *Revista Institucional Sudafricana de Ingeniería Civil*, 5(2).
- Huang, Y. (2004). *Análisis y Diseño de Pavimento*. Kentucky: Pearson.
- Loria, L., & Leiva, P. (2014). Cómo reforzar pavimentos flexibles con materiales Geosintéticos. *Revista Civilizate*, 5(1).
- Soluciones Viales, S. (2020). *Diseño de Base Estabilizada con Emulsión Asfáltica*. Managua.

### Webgrafía

- Dynatest. (2021). *Deflectómetro de Impacto*. Obtenido de <https://dynatest.com/equipment/falling-weight-deflectometer/>
- McLean. (2016). *Federal Highway Administration Research*. Obtenido de <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/ltp/98085/d0def.cfm>
- Mecacisa. (2016). *Mecánica Científica*. Obtenido de <http://www.mecacisa.com/es/portfolio/viga-benkelman/>

**ANEXO**

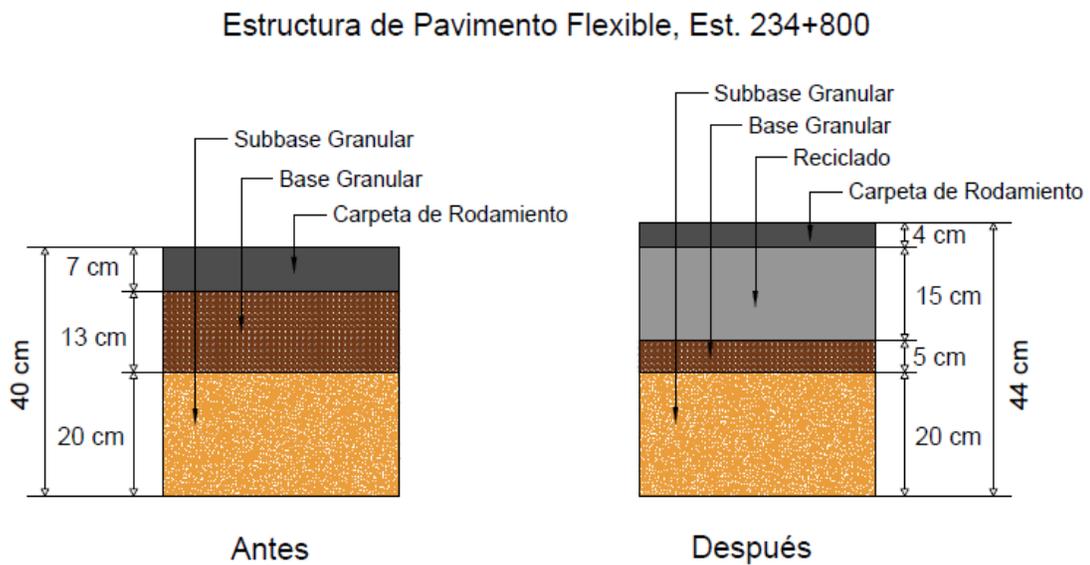
## ANEXO

**Figura N° 17. Tramo La Curva Nueva Guinea km 234, RACCS, carretera actual en excelentes condiciones.**



Fuente: Propia

**Figura N° 18. Espesor Antes y Después de Estructura de Pavimento Flexible Est. 234+800**



Fuente: FOMAV,2020, p.7





**Tabla N° 31. Resultados recopilados por el Deflectómetro de Impacto Est-234+000-236+975.**

Est.	T. M (°C)	F.I. (kN)	D0 (µm)	D200 (µm)	D300 (µm)	D450 (µm)	D600 (µm)	D900 (µm)	D1200 (µm)	D1500 (µm)	D1800 (µm)
234+000	25.6	40.961	428	320	255	183	135	84	54	43	33
234+025	29.3	40.818	364	290	236	175	128	75	43	35	28
234+050	25.6	39.566	214	183	160	134	111	79	51	39	29
234+075	29.3	41.150	291	243	204	159	121	74	42	33	25
234+100	25.6	41.621	215	170	143	114	88	57	34	26	20
234+125	29.3	41.393	334	262	211	155	116	70	43	36	31
234+150	25.6	42.256	197	164	137	107	82	50	28	22	16
234+175	29.3	41.794	454	322	224	137	84	40	20	18	16
234+200	25.6	39.733	209	170	143	115	91	61	36	26	21
234+225	29.3	41.933	376	286	231	175	137	97	70	61	51
234+250	25.6	40.267	313	236	185	133	100	69	49	44	38
234+275	29.3	41.559	492	360	257	170	118	75	48	39	32
234+300	25.6	40.581	251	200	159	117	85	49	26	20	15
234+325	29.3	41.264	303	233	185	128	88	44	20	17	14
234+350	25.6	39.379	272	210	164	117	86	51	31	26	22
234+375	29.3	41.810	326	234	169	110	74	42	26	23	20
234+400	25.6	41.588	275	222	183	142	111	75	49	39	32
234+425	29.3	42.327	344	275	226	170	125	73	41	32	26
234+450	25.6	41.534	287	224	179	132	99	64	42	35	29
234+475	29.3	42.050	377	281	214	150	111	72	48	42	35
234+500	25.6	40.640	294	243	197	152	116	72	43	32	24

Est.	T. M (°C)	F.I. (kN)	D0 (µm)	D200 (µm)	D300 (µm)	D450 (µm)	D600 (µm)	D900 (µm)	D1200 (µm)	D1500 (µm)	D1800 (µm)
234+525	29.3	40.554	272	225	188	148	115	77	50	40	32
234+550	25.6	41.638	395	281	197	126	85	50	32	27	22
234+575	29.3	41.792	372	271	208	145	104	64	41	35	29
234+600	25.6	40.830	235	195	164	130	101	69	46	39	31
234+625	29.3	41.834	349	264	209	156	118	79	55	47	40
234+650	25.6	41.444	285	223	176	131	101	68	48	42	36
234+675	29.3	40.453	361	294	236	178	138	91	58	45	36
234+700	25.6	41.754	274	201	155	108	77	45	26	21	15
234+725	29.3	40.989	295	228	182	135	101	64	39	32	26
234+750	25.6	40.627	399	300	226	157	112	69	45	39	32
234+775	29.3	41.922	352	269	209	153	115	75	49	42	35
234+800	25.6	42.493	232	196	169	140	116	84	59	49	40
234+825	29.3	42.368	442	323	234	159	117	83	62	56	48
234+850	25.6	42.436	470	335	233	147	102	68	48	41	34
234+875	29.3	41.225	353	267	211	157	118	76	50	41	33
234+900	25.6	42.326	294	224	178	135	104	72	52	44	38
234+925	29.3	41.216	387	278	208	141	101	66	46	40	32
234+950	25.6	41.809	383	259	175	107	72	51	40	39	35
234+975	29.3	40.827	370	277	203	137	98	68	51	47	41
235+000	25.6	42.711	423	303	217	142	101	68	51	45	38
235+025	29.3	41.004	309	239	189	142	107	66	41	32	27
235+075	29.3	42.536	405	299	223	152	105	64	44	38	32
235+100	25.6	40.525	329	234	167	108	73	42	25	23	20

Est.	T. M (°C)	F.I. (kN)	D0 (µm)	D200 (µm)	D300 (µm)	D450 (µm)	D600 (µm)	D900 (µm)	D1200 (µm)	D1500 (µm)	D1800 (µm)
235+125	29.3	42.164	309	227	172	117	81	48	29	29	25
235+150	25.6	41.033	496	360	260	160	101	53	37	34	31
235+175	29.3	43.573	363	273	203	133	87	48	31	29	28
235+225	29.3	40.481	249	184	140	97	69	41	24	23	22
235+250	25.6	42.322	324	232	175	124	92	61	42	40	37
235+275	29.3	42.086	403	288	206	132	89	56	40	39	35
235+300	25.6	41.565	458	330	240	162	118	79	57	49	39
235+325	29.3	42.095	304	243	194	141	101	56	32	27	25
235+350	25.6	42.275	242	187	153	118	89	55	33	26	21
235+375	29.3	40.990	319	229	172	113	74	38	20	19	17
235+400	25.6	40.313	332	266	220	174	137	91	65	54	46
235+425	29.3	40.665	365	271	212	151	107	63	39	34	29
235+450	25.6	40.512	359	278	219	160	117	74	49	42	35
235+475	29.3	41.009	295	221	170	124	90	51	26	21	17
235+500	25.6	43.558	275	210	161	107	71	34	15	14	11
235+525	29.3	41.211	386	279	203	134	90	55	34	30	25
235+550	25.6	41.514	344	253	185	120	78	44	27	27	23
235+575	29.3	43.340	461	324	221	138	90	48	29	27	23
235+600	25.6	40.668	361	248	177	118	80	48	29	25	21
235+625	29.3	41.377	424	298	213	135	88	45	27	25	21
235+650	25.6	42.769	342	256	192	130	90	51	29	25	20
235+675	29.3	42.107	453	325	228	140	88	48	33	30	28

Est.	T. M (°C)	F.I. (kN)	D0 (µm)	D200 (µm)	D300 (µm)	D450 (µm)	D600 (µm)	D900 (µm)	D1200 (µm)	D1500 (µm)	D1800 (µm)
235+700	25.6	40.978	355	256	182	116	73	38	20	18	16
235+775	29.3	41.207	416	314	241	166	115	66	41	38	33
235+800	25.6	42.564	457	342	259	175	119	68	42	36	30
235+825	29.3	41.602	389	282	211	144	99	55	33	30	27
235+850	25.6	42.652	441	354	279	203	154	100	69	57	49
235+875	29.3	42.507	386	274	193	120	80	48	34	32	29
235+900	25.6	41.989	422	307	210	126	79	44	28	24	22
235+925	29.3	41.281	445	332	252	171	117	65	38	32	28
235+950	25.6	43.731	407	287	196	113	66	33	18	17	14
235+975	29.3	41.801	438	322	233	148	94	47	26	24	20
236+000	25.6	41.124	392	281	211	143	98	50	25	20	17
236+625	29.3	41.430	361	277	219	156	110	60	32	25	20
236+650	25.6	41.633	485	352	248	162	109	60	33	26	20
236+675	29.3	42.013	374	259	175	108	71	37	21	19	15
236+100	25.6	42.147	354	257	189	123	80	40	21	18	16
236+125	29.3	40.782	285	214	163	116	85	55	38	35	30
236+200	25.6	41.386	313	220	159	101	63	26	8	7	6
236+225	29.3	42.600	456	318	219	137	91	52	32	27	23
236+250	25.6	40.807	323	220	153	94	61	33	19	19	17
236+275	29.3	41.106	497	346	239	148	97	52	31	28	25
236+300	25.6	42.372	369	249	164	99	63	33	19	18	16

Est.	T. M (°C)	F.I. (kN)	D0 (µm)	D200 (µm)	D300 (µm)	D450 (µm)	D600 (µm)	D900 (µm)	D1200 (µm)	D1500 (µm)	D1800 (µm)
236+325	29.3	43.519	380	249	160	95	60	33	19	18	15
236+350	25.6	42.654	442	303	198	113	70	39	26	25	22
236+275	29.3	41.997	395	262	165	95	61	33	21	18	17
236+400	25.6	41.796	451	318	221	145	106	71	49	39	30
236+450	25.6	42.771	401	299	232	173	133	90	62	51	41
236+500	25.6	42.411	372	270	198	137	98	62	41	36	30
236+525	29.3	41.472	318	244	187	128	88	53	33	30	25
236+550	25.6	41.176	307	220	162	106	71	40	24	23	20
236+575	29.3	41.699	260	184	143	103	75	45	26	22	19
236+625	29.3	42.368	316	238	187	137	103	68	46	40	32
236+660	29.3	42.976	312	196	133	75	44	21	10	9	8
236+700	25.6	41.666	477	324	210	125	84	53	34	28	21
236+750	25.6	42.101	483	318	199	116	76	45	26	22	18
236+775	29.3	43.150	361	239	155	85	49	28	17	17	15
236+800	25.6	41.648	454	291	173	95	58	30	16	14	13
236+825	29.3	41.863	273	208	157	105	69	37	23	20	17
236+850	25.6	43.299	334	241	180	123	86	47	26	22	20
236+875	29.3	40.714	352	237	159	97	65	38	22	20	17
236+900	25.6	43.763	504	334	227	141	92	48	28	25	21
236+925	29.3	42.642	431	279	174	102	71	50	35	31	26
236+950	25.6	41.759	397	287	209	134	88	45	25	22	19
236+975	29.3	42.595	390	265	178	108	68	34	20	18	15

T.M: Temperatura Manual, F.I: Fuerza de Impacto

Fuente: Deflectómetro de Impacto, 2020

**Tabla N° 32. Deflexiones Corregidas por Carga y Temperatura**

Est.	D0 ( $\mu\text{m}$ )	D200 ( $\mu\text{m}$ )	D300 ( $\mu\text{m}$ )	D450 ( $\mu\text{m}$ )	D600 ( $\mu\text{m}$ )	D900 ( $\mu\text{m}$ )	D1200 ( $\mu\text{m}$ )	D1500 ( $\mu\text{m}$ )	D1800 ( $\mu\text{m}$ )
234+000	425	313	249	179	132	82	53	42	32
234+025	358	284	231	172	126	73	42	34	28
234+050	220	185	162	135	112	79	51	39	29
234+075	284	236	198	154	117	72	41	32	25
234+100	213	163	138	109	85	55	32	25	19
234+125	324	253	204	150	112	67	42	35	30
234+150	193	155	130	101	77	48	26	21	15
234+175	437	308	214	131	81	38	19	18	15
234+200	216	171	144	115	91	61	36	27	21
234+225	360	273	220	167	130	92	67	58	48
234+250	319	235	184	133	99	68	49	44	38
234+275	475	346	248	164	113	72	46	37	31
234+300	256	197	157	116	84	48	26	19	14
234+325	296	226	179	124	85	42	20	16	13
234+350	285	213	166	119	88	52	31	26	22
234+375	314	224	162	105	71	40	25	22	19
234+400	271	214	176	136	107	72	47	38	30
234+425	326	260	213	161	118	69	39	30	25
234+450	284	216	172	127	96	62	40	34	28
234+475	360	267	204	143	105	68	45	40	33
234+500	296	239	194	149	114	71	43	32	23
234+525	269	222	185	146	113	76	49	40	32
234+550	392	270	189	121	81	48	31	26	21

<b>Est.</b>	<b>D0 (µm)</b>	<b>D200 (µm)</b>	<b>D300 (µm)</b>	<b>D450 (µm)</b>	<b>D600 (µm)</b>	<b>D900 (µm)</b>	<b>D1200 (µm)</b>	<b>D1500 (µm)</b>	<b>D1800 (µm)</b>
234+575	357	259	199	139	100	61	39	33	27
234+600	236	191	160	127	99	67	45	38	31
234+625	334	252	200	149	113	75	52	45	38
234+650	282	215	170	126	97	66	47	41	34
234+675	358	291	233	176	136	90	57	45	35
234+700	273	192	148	104	74	43	25	20	15
234+725	289	222	177	132	98	62	38	32	25
234+750	403	295	223	155	110	68	45	39	32
234+775	337	256	200	146	110	71	47	40	34
234+800	223	185	159	132	109	79	55	46	38
234+825	419	305	220	150	111	78	59	53	45
234+850	454	316	219	138	96	64	45	38	32
234+875	343	259	205	152	114	74	48	40	32
234+900	284	212	168	127	98	68	49	42	36
234+925	377	270	202	137	98	64	45	39	31
234+950	379	248	168	102	69	49	38	37	33
234+975	364	271	199	134	96	66	50	46	40
235+000	407	283	203	133	95	64	47	42	35
235+025	303	233	185	138	104	65	40	32	26
235+050	341	259	209	153	112	67	42	34	28
235+075	382	282	209	143	99	60	41	36	30
235+100	338	231	165	107	73	41	24	23	19

Est.	D0 ( $\mu\text{m}$ )	D200 ( $\mu\text{m}$ )	D300 ( $\mu\text{m}$ )	D450 ( $\mu\text{m}$ )	D600 ( $\mu\text{m}$ )	D900 ( $\mu\text{m}$ )	D1200 ( $\mu\text{m}$ )	D1500 ( $\mu\text{m}$ )	D1800 ( $\mu\text{m}$ )
235+125	295	215	163	111	77	45	28	27	24
235+150	498	351	253	156	99	52	36	33	31
235+175	335	251	186	123	80	44	28	27	25
235+225	248	181	139	96	68	40	23	23	22
235+250	315	220	166	118	87	58	40	38	35
235+275	385	274	196	126	85	53	38	37	33
235+300	450	317	231	156	114	76	55	47	38
235+325	290	231	184	134	96	53	30	26	23
235+350	236	177	145	111	84	52	31	25	20
235+375	313	224	168	110	72	37	19	19	16
235+400	335	264	219	173	136	90	64	53	46
235+425	360	267	209	149	105	62	38	34	29
235+450	363	274	217	158	116	73	48	41	34
235+475	290	216	166	121	87	50	26	21	16
235+500	265	193	148	99	65	31	14	13	10
235+525	376	271	197	130	87	53	33	29	24
235+550	344	244	178	115	75	42	26	26	22
235+575	428	299	204	128	83	44	27	25	22
235+600	367	244	175	116	79	47	28	25	20
235+625	412	288	206	131	85	44	26	24	21
235+650	331	240	180	121	84	47	27	24	19

Est.	D0 (µm)	D200 (µm)	D300 (µm)	D450 (µm)	D600 (µm)	D900 (µm)	D1200 (µm)	D1500 (µm)	D1800 (µm)
235+675	433	309	217	133	83	46	31	29	26
235+700	361	249	178	113	71	37	19	18	15
235+775	405	305	233	161	111	64	40	37	32
235+800	440	321	243	164	112	64	40	33	28
235+825	376	271	203	138	95	53	32	29	26
235+850	420	332	262	190	144	94	65	54	46
235+875	365	257	181	113	75	46	32	30	28
235+900	418	292	200	120	75	42	26	22	21
235+925	433	322	244	166	114	63	37	31	27
235+950	390	263	179	103	60	30	17	15	13
235+975	421	309	223	142	90	45	25	23	19
236+000	394	273	205	139	95	49	24	19	17
236+625	350	268	212	150	106	58	31	24	20
236+650	479	338	238	156	105	58	32	25	19
236+675	358	246	167	103	67	35	20	18	14
236+100	350	244	179	117	76	38	20	17	15
236+125	281	210	160	114	83	54	37	34	29
236+200	319	212	154	97	61	25	8	7	6
236+250	331	216	150	93	60	32	19	18	17
236+275	486	336	232	144	94	51	30	27	25
236+300	365	235	155	93	59	32	18	17	15
236+325	352	228	147	88	55	30	18	16	14

Est.	D0 ( $\mu\text{m}$ )	D200 ( $\mu\text{m}$ )	D300 ( $\mu\text{m}$ )	D450 ( $\mu\text{m}$ )	D600 ( $\mu\text{m}$ )	D900 ( $\mu\text{m}$ )	D1200 ( $\mu\text{m}$ )	D1500 ( $\mu\text{m}$ )	D1800 ( $\mu\text{m}$ )
236+350	432	284	186	106	65	37	24	24	21
236+275	379	249	157	90	58	32	20	18	16
236+400	442	304	212	139	101	68	47	38	29
236+450	382	280	217	162	125	84	58	47	39
236+500	361	255	186	130	93	58	39	34	28
236+525	308	235	180	124	85	51	32	29	24
236+550	310	214	157	103	69	38	23	22	20
236+575	251	177	137	98	72	43	25	21	18
236+625	299	224	176	130	97	65	44	37	30
236+660	293	183	123	70	41	20	9	9	7
236+700	472	311	201	120	81	51	32	27	20
236+750	476	302	189	110	72	43	25	21	17
236+775	338	222	144	79	45	26	16	16	14
236+800	457	279	166	92	55	29	16	14	12
236+825	262	198	150	100	66	36	22	19	17
236+850	320	223	166	114	79	44	24	21	18
236+875	348	233	156	96	63	37	22	19	17
236+900	477	305	208	129	84	44	25	23	19
236+925	406	262	164	95	67	46	32	30	25
236+950	394	275	200	128	84	43	24	21	18
236+975	369	249	167	102	63	32	18	17	14

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 33. Resultados de Pruebas de Deflexión**

Dept/ Región	Est.	BLI	MLI	LLI	AN 0.9	RoC	F2	RD	MRD
RACCS	234+000	176	118	49	448	178	0.67	0.59	9.59
RACCS	234+025	126	105	53	480	272	0.68	0.65	11.40
RACCS	234+050	58	50	32	577	573	0.51	0.74	18.52
RACCS	234+075	86	81	45	521	423	0.64	0.70	14.38
RACCS	234+100	76	53	30	502	398	0.60	0.65	19.12
RACCS	234+125	120	92	44	473	282	0.67	0.63	12.58
RACCS	234+150	64	52	30	508	520	0.63	0.67	21.10
RACCS	234+175	223	133	43	366	155	0.82	0.49	9.33
RACCS	234+200	72	52	30	519	441	0.58	0.67	18.86
RACCS	234+225	140	89	38	480	229	0.58	0.61	11.33
RACCS	234+250	135	84	31	449	238	0.63	0.58	12.80
RACCS	234+275	228	134	41	401	155	0.71	0.52	8.58
RACCS	234+300	99	73	36	460	339	0.69	0.61	15.93
RACCS	234+325	117	94	43	439	285	0.76	0.60	13.79
RACCS	234+350	119	79	36	445	277	0.69	0.58	14.31
RACCS	234+375	152	91	31	391	222	0.75	0.51	12.98
RACCS	234+400	95	69	35	503	349	0.59	0.65	15.06
RACCS	234+425	112	96	48	487	303	0.67	0.66	12.52
RACCS	234+450	112	77	34	465	294	0.64	0.61	14.36
RACCS	234+475	156	99	37	436	216	0.67	0.57	11.33
RACCS	234+500	102	79	43	499	354	0.63	0.66	13.80

Dept/ Región	Est.	BLI	MLI	LLI	AN 0.9	RoC	F2	RD	MRD
RACCS	234+525	84	72	37	524	421	0.59	0.69	15.14
RACCS	234+550	203	108	33	376	164	0.74	0.48	10.40
RACCS	234+575	159	99	39	426	204	0.69	0.56	11.42
RACCS	234+600	75	61	32	523	451	0.58	0.68	17.32
RACCS	234+625	134	87	38	465	244	0.62	0.60	12.20
RACCS	234+650	111	73	32	470	299	0.61	0.60	14.48
RACCS	234+675	124	97	46	498	298	0.62	0.65	11.40
RACCS	234+700	124	74	31	418	249	0.71	0.54	14.96
RACCS	234+725	112	79	36	468	297	0.65	0.61	14.09
RACCS	234+750	180	113	42	424	187	0.69	0.55	10.13
RACCS	234+775	138	90	38	457	247	0.64	0.59	12.10
RACCS	234+800	64	50	30	565	527	0.50	0.71	18.33
RACCS	234+825	198	110	32	415	176	0.64	0.53	9.74
RACCS	234+850	235	123	32	379	145	0.71	0.48	8.98
RACCS	234+875	138	91	40	461	239	0.64	0.60	11.88
RACCS	234+900	116	70	30	467	277	0.59	0.59	14.35
RACCS	234+925	175	104	33	414	188	0.68	0.54	10.83
RACCS	234+950	211	99	20	357	153	0.71	0.44	10.77
RACCS	234+975	164	103	30	421	216	0.67	0.55	11.22
RACCS	235+000	204	108	30	393	162	0.68	0.50	10.03
RACCS	235+025	118	81	39	468	287	0.65	0.61	13.47

Dept/ Región	Est.	BLI	MLI	LLI	AN 0.9	RoC	F2	RD	MRD
RACCS	235+050	132	97	45	461	245	0.68	0.61	11.97
RACCS	235+075	173	110	39	416	198	0.71	0.55	10.66
RACCS	235+100	172	93	31	380	187	0.75	0.49	12.08
RACCS	235+125	132	86	32	417	251	0.72	0.55	13.83
RACCS	235+150	245	155	47	377	135	0.80	0.51	8.18
RACCS	235+175	149	106	36	408	238	0.76	0.56	12.17
RACCS	235+225	109	71	28	424	301	0.71	0.56	16.46
RACCS	235+250	149	79	29	418	210	0.65	0.53	12.96
RACCS	235+275	189	111	32	389	180	0.73	0.51	10.59
RACCS	235+300	219	117	37	405	150	0.67	0.51	9.06
RACCS	235+325	105	89	42	467	339	0.71	0.64	14.07
RACCS	235+350	92	61	32	473	336	0.64	0.61	17.26
RACCS	235+375	146	95	35	397	224	0.78	0.54	13.03
RACCS	235+400	116	83	45	508	282	0.59	0.65	12.17
RACCS	235+425	151	104	43	437	214	0.70	0.58	11.33
RACCS	235+450	146	101	43	455	226	0.66	0.60	11.25
RACCS	235+475	124	78	38	438	270	0.70	0.57	14.08
RACCS	235+500	117	83	34	408	278	0.79	0.56	15.39
RACCS	235+525	180	109	34	398	189	0.73	0.52	10.84
RACCS	235+550	166	103	33	389	200	0.76	0.52	11.85
RACCS	235+575	224	121	39	367	155	0.78	0.48	9.54

Dept/ Región	Est.	BLI	MLI	LLI	AN 0.9	RoC	F2	RD	MRD
RACCS	235+600	193	95	32	376	162	0.73	0.48	11.10
RACCS	235+625	206	121	41	377	161	0.79	0.50	9.90
RACCS	235+650	151	96	36	410	218	0.74	0.54	12.31
RACCS	235+675	216	134	38	374	162	0.79	0.50	9.42
RACCS	235+700	183	107	34	372	180	0.79	0.49	11.31
RACCS	235+775	172	122	47	429	199	0.73	0.58	10.06
RACCS	235+800	197	131	48	414	168	0.74	0.55	9.26
RACCS	235+825	173	108	42	409	191	0.74	0.54	10.84
RACCS	235+850	158	118	50	473	227	0.64	0.62	9.71
RACCS	235+875	183	106	29	380	186	0.75	0.50	11.18
RACCS	235+900	218	125	33	362	159	0.79	0.48	9.77
RACCS	235+925	189	131	51	420	179	0.74	0.56	9.42
RACCS	235+950	211	119	30	346	157	0.83	0.46	10.46
RACCS	235+975	198	133	45	389	178	0.80	0.53	9.68
RACCS	236+000	189	110	46	397	166	0.76	0.52	10.36
RACCS	236+025	139	106	48	447	242	0.73	0.60	11.64
RACCS	236+050	241	133	47	383	142	0.76	0.50	8.51
RACCS	236+075	191	100	32	361	179	0.79	0.47	11.39
RACCS	236+100	171	103	39	385	189	0.79	0.51	11.66
RACCS	236+125	121	77	29	438	279	0.66	0.57	14.50
RACCS	236+200	165	94	35	364	187	0.84	0.48	12.78

Dept/ Región	Est.	BLI	MLI	LLI	AN 0.9	RoC	F2	RD	MRD
RACCS	236+225	224	120	37	370	152	0.77	0.48	9.48
RACCS	236+250	182	90	28	354	173	0.79	0.45	12.32
RACCS	236+275	254	138	43	367	133	0.78	0.48	8.39
RACCS	236+300	210	95	28	339	154	0.80	0.42	11.17
RACCS	236+325	205	92	25	335	162	0.79	0.42	11.59
RACCS	236+350	246	120	28	337	135	0.80	0.43	9.44
RACCS	236+375	221	99	26	333	155	0.80	0.42	10.77
RACCS	236+400	230	111	33	385	146	0.68	0.48	9.23
RACCS	236+450	165	92	40	451	196	0.61	0.57	10.68
RACCS	236+500	175	93	34	406	188	0.69	0.52	11.30
RACCS	236+525	128	95	34	433	272	0.72	0.58	13.22
RACCS	236+550	153	88	31	387	208	0.76	0.51	13.15
RACCS	236+575	114	65	29	425	270	0.69	0.54	16.26
RACCS	236+625	123	80	32	456	267	0.63	0.59	13.63
RACCS	236+660	169	83	21	328	182	0.84	0.42	13.93
RACCS	236+700	271	120	30	345	124	0.75	0.43	8.64
RACCS	236+750	287	117	29	328	115	0.77	0.40	8.57
RACCS	236+775	194	98	19	329	172	0.82	0.42	12.07
RACCS	236+800	291	111	27	305	112	0.83	0.36	8.92
RACCS	236+825	112	84	31	418	313	0.76	0.57	15.55
RACCS	236+850	153	87	35	401	207	0.74	0.52	12.77

Dept/ Región	Est.	BLI	MLI	LLI	AN 0.9	RoC	F2	RD	MRD
RACCS	236+875	191	93	26	356	175	0.76	0.45	11.73
RACCS	236+900	270	123	40	347	116	0.79	0.43	8.54
RACCS	236+925	242	97	20	337	139	0.72	0.40	10.04
RACCS	236+950	194	116	41	383	167	0.78	0.51	10.34
RACCS	236+975	202	104	31	350	166	0.81	0.45	11.04

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 34. Total de vehículos contados en ambos sentidos el día Martes 23 de Marzo,2021.

Martes 23 de Marzo en Ambos Sentidos																						
Horario		Vehículos de Pasajeros								Vehículos de Carga								Otros Vehículos Pesados			Total	
		Vehículos Livianos					Autobuses			Camiones				Tráiler Articulado		Camión Remolque		O t r o s	V. A	V. C		T. A
Inicio	Fin	B i c i	M o t o s	A u t o	J e e p	C m t a	Mc Bus <15 pas .	Mn Bus 15- 30 s.	B u s	Liv 2-5 tn	C2 5+ tn	C 3	C 4	Tx- Sx <= 4	Tx- Sx >= 5	Cx- Rx <= 4	Cx- Rx => 5					
06:00	07:00	4	16	7	0	7	1	0	1	0	0	1	2	2	0	4	0	0	0	0	0	41
07:00	08:00	3	15	6	1	16	4	0	5	0	4	1	1	0	0	3	0	0	0	0	0	58
08:00	09:00	3	16	5	1	11	2	0	3	0	2	0	3	1	0	3	0	0	0	0	0	48
09:00	10:00	2	14	11	2	12	2	0	3	1	3	1	1	1	0	2	0	0	0	0	0	55
10:00	11:00	3	19	11	3	21	0	0	2	0	4	6	0	0	0	3	0	0	0	0	0	70
11:00	12:00	5	20	11	3	16	0	0	3	3	5	7	0	3	0	5	0	0	0	0	0	79
12:00	13:00	9	13	7	3	19	3	0	5	1	5	4	1	4	0	8	0	0	0	1	1	78
13:00	14:00	7	19	18	4	24	3	2	5	5	7	1	1	4	0	5	0	2	0	0	0	106
14:00	15:00	0	14	4	2	12	1	2	6	1	1	4	0	2	0	0	0	0	0	1	0	50
15:00	16:00	6	25	16	6	20	3	0	4	1	2	4	5	1	0	5	2	0	0	0	0	97
16:00	17:00	1	22	8	2	27	3	0	6	4	3	2	4	0	0	1	0	0	0	0	0	85
17:00	18:00	1	24	8	4	15	3	1	3	1	2	2	7	0	0	1	0	0	0	0	0	73
Total		44	217	112	31	200	25	5	46	17	38	33	25	18	22	0	2	2	0	2	1	840

Bici: Bicicleta, Cmta: Camioneta, Mc Bus: Micro Bus, Mn Bus: Mini Bus, V.A: Vehículo Agrícola, V.C: Vehículo de Construcción,

T.R: Tracción Animal

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 35. Total de vehículos contados en ambos sentidos el día Miércoles 24 de Marzo, 2021**

Miércoles 24 de Marzo ambos sentidos																						
Horario		Vehículos de Pasajeros								Vehículos de Carga								Otros Vehículos Pesados				Total
		Vehículos Livianos				Autobuses				Camiones				Tráiler Articulado		Camión Remolque						
Inicio	Fin	Biciclos	Motos	Autos	Jeeps	CMTa.	Mc Bus <15 pas.	Mn Bus 15-30 s.	Bus	Liv 2-5 tn	C2 5+ tn	C3	C4	Tx-Sx <= 4	Tx-Sx >= 5	Cx-Rx <=4	Cx-Rx => 5	Otros	V.A	V.C	T.A	Total
06:00	07:00	3	18	12	0	16	3	0	1	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	58
07:00	08:00	12	29	14	4	31	7	0	10	9	12	13	7	8	0	0	0	0	0	0	0	156
08:00	09:00	4	22	18	3	15	2	0	11	8	13	6	6	1	0	0	0	0	0	0	0	109
09:00	10:00	5	11	15	3	24	3	0	2	8	11	6	6	2	2	0	0	0	0	0	0	98
10:00	11:00	4	37	24	3	25	7	0	4	10	11	8	10	2	1	0	1	0	0	0	0	147
11:00	12:00	4	20	11	1	30	0	0	3	2	3	8	4	3	6	0	0	0	0	0	0	96
12:00	13:00	3	22	8	3	15	0	0	4	0	6	5	5	1	2	1	0	0	0	0	0	74
13:00	14:00	0	17	8	0	27	1	0	3	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	61
14:00	15:00	2	19	16	0	28	3	0	5	2	4	6	4	3	2	0	0	0	0	2	0	96
15:00	16:00	1	16	11	2	17	0	0	4	2	3	5	1	1	3	0	0	0	0	0	0	66
16:00	17:00	1	22	9	2	23	2	0	4	5	10	6	1	0	1	0	0	0	0	0	0	86
17:00	18:00	3	30	15	1	23	4	0	2	0	3	3	3	1	2	0	0	0	0	0	0	90
Total		42	263	161	2	274	32	0	53	47	79	67	49	23	20	1	1	0	0	3	0	<b>1137</b>

Cmta: Camioneta, Mc Bus: Micro Bus, Mn Bus: Mini Bus, V.A: Vehículo Agrícola, V.C: Vehículo de Construcción, T.R: Tracción Animal

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 36. Total de vehículos contados en ambos sentidos el día Jueves 25 de Marzo, 2021**

Jueves 25 de Marzo ambos sentidos																						
Horario		Vehículos de Pasajeros								Vehículos de Carga								Otros Vehículos Pesados			Total	
		Vehículos Livianos				Autobuses				Camiones				Tráiler Articulado		Camión Remolque		Otros	V.A	V.C		T.A
Inicio	Fin	Bici	Motos	Auto	Jeep	Cmta.	Mc Bus <15 pas.	Mn Bus 15-30 s.	Bus	Liv 2-5 tn	C2 5+ tn	C3	C4	Tx-Sx <= 4	Tx-Sx >= 5	Cx-Rx <= 4	Cx-Rx >= 5					
06:00	07:00	3	23	11	0	9	1	0	1	0	3	4	1	1	2	0	0	0	0	0	0	59
07:00	08:00	5	31	20	3	28	0	0	6	3	4	5	3	5	3	0	0	0	0	0	0	116
08:00	09:00	12	22	11	3	22	1	1	3	4	12	8	3	8	1	0	0	0	0	0	0	111
09:00	10:00	10	15	9	2	25	4	0	4	8	15	5	8	9	4	0	0	0	0	0	0	118
10:00	11:00	4	11	7	2	17	5	0	2	15	19	6	6	5	2	0	0	0	0	0	0	101
11:00	12:00	4	10	5	1	18	3	0	3	2	5	4	1	3	3	0	0	0	0	0	0	62
12:00	13:00	11	24	28	5	37	0	0	9	9	7	13	3	5	6	0	0	0	0	0	0	157
13:00	14:00	8	30	16	6	21	4	0	3	8	10	5	9	8	3	0	0	0	0	0	0	131
14:00	15:00	6	25	11	2	23	2	0	6	5	6	4	2	1	6	0	0	0	0	0	0	99
15:00	16:00	3	22	9	3	21	1	0	4	8	13	5	2	5	4	0	0	0	0	0	0	100
16:00	17:00	5	14	10	2	18	1	0	4	0	6	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	66
17:00	18:00	5	25	20	0	13	0	0	3	4	4	1	2	1	4	0	0	0	0	0	0	82
Total		76	252	157	29	252	22	1	48	66	104	64	40	51	40	0	0	0	0	0	0	1202

Bici: Bicicleta, Cmta: Camioneta, Mc Bus: Micro Bus, Mn Bus: Mini Bus, V.A: Vehículo Agrícola, V.C: Vehículo de Construcción,

T.R: Tracción Animal

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 37. Aplicación de Factores de Ajuste para el cálculo de TPDA

Aplicación Factores																			
Dia	Vehículos de Pasajeros							Vehículos de Carga						Otros Vehículos Pesados			Total		
	Vehículos Livianos				Autobuses			Camiones			Tráiler Articulado		Camión Remolque		Otr os	V.A		V.C	
	Motos	Auto	Jeep	Cmta.	Mc Bus <15 pas.	Mn Bus 15-30	Bus	Liv 2-5 tn	C2 5+ tn	C3	Tx-Sx <= 4	Tx-Sx >=5	Cx-Rx <=4	Cx-Rx =>5					
Martes	72	37	10	67	8	2	15	6	13	11	6	7	0	1	1	0	1	257	
Miércoles	88	54	7	91	11	0	18	16	26	22	8	7	0	0	0	0	1	349	
Jueves	84	52	10	84	7	0	16	22	35	21	17	13	0	0	0	0	0	361	
TP(D)	244	143	27	242	26	2	49	44	74	54	31	27	0	1	1	0	2	967	
<b>Factor Dia</b>	1.34	1.29	1.18	1.25	1.23	1.14	1.38	1.15	1.2	1.21	1	1.32	1	1	1	1	1		
<b>TPD</b>	327	184	32	303	32	2	68	51	89	65	31	36	0	1	1	0	2	1223	
<b>Factor Sem.</b>	0.95	0.96	1	0.97	0.92	0.93	0.89	0.91	0.83	0.86	1	0.86	1	1	0.89	1	1		
<b>TPDS</b>	311	177	32	293	29	2	60	46	74	56	31	31	0	1	1	0	2	1146	
<b>Factor ajuste</b>	1.15	1.15	1.35	1.13	1.2	1.23	1.16	1.15	1.04	1.27	1	1.54	1	1	1.88	1	1		
<b>TPDA</b>	357	204	43	332	35	3	70	53	77	71	31	47	0	1	2	0	2	1327	
	973							354											1327
	26.92	15.35	3.24	24.99	2.66	0.2	5.26	3.99	5.78	5.38	2.34	3.56	0	0.07	0.13	0	0.13		
	73.36							26.64											100
	%Vehículos Livianos							% Vehículos Pesados											

Sem: Semana, Cmta: Camioneta, Mc Bus: Micro Bus, Mn Bus: Mini Bus, V.A: Vehículo Agrícola, V.C: Vehículo de Construcción,

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla N° 38. Serie Histórica de Conteo Vehicular desde 2007-2020**

Año	Vehículos de Pasajeros							Vehículos de Carga							Otros Vehículos Pesados			TPDA
	Vehículos Livianos				Autobuses			Camiones			Tráiler Articulado		Camión Remolque		V. A	V.C	Otros	
	Motos	Autos	Jeep	Camta.	Mc Bus <15 pas.	Mn Bus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C 3	Tx-Sx <= 4	Tx-Sx >= 5	Cx - Rx <= 4	Cx-Rx >= 5e				
2020	313	130	45	212	14	0	48	22	126	12	0	37	0	0	0	0	0	959
2014	111	76	31	149	3	1	46	90	90	6	0	18	0	0	0	0	4	625
2010	72	55	18	148	2	0	39	92	56	2	0	17	0	0	0	0	0	501
2007	73	62	27	151	3	0	41	81	79	0	0	15	0	0	0	0	4	536

Fuente: Anuario de Aforos de Trafico 2020, p.225.

**Tabla N° 39. Proyección de Transito**

Año	Vehículos de Pasajeros							Vehículos de Carga							Otros Vehículos Pesados			TPDA
	Vehículos Livianos				Autobuses			Camiones			Tráiler Articulado		Camión Remolque		V.A	V.C	Otros	
	Motos	Autos	J e e p	Cmta.	Mc Bus <15 pas.	Mn Bus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e				
2021	357	204	43	332	35	3	70	53	77	71	31	47	0	1	2	0	2	1327
2022	368	210	44	342	36	3	72	55	79	74	32	49	-	1	2	-	2	1,368
2023	379	216	46	352	37	3	74	56	81	76	33	50	-	1	2	-	2	1,409
2024	391	223	47	363	39	3	76	58	84	78	34	52	-	1	2	-	2	1,453
2025	403	230	49	374	40	3	79	60	86	81	35	53	-	1	2	-	2	1,497
2026	415	237	50	386	41	3	81	62	89	83	36	55	-	1	2	-	2	1,543
2027	428	244	52	397	42	3	84	63	92	86	37	57	-	1	2	-	2	1,590
2028	441	251	53	409	44	3	86	65	95	88	38	58	-	1	2	-	2	1,639
2029	455	259	55	422	45	3	89	67	98	91	39	60	-	1	2	-	3	1,689
2030	469	267	56	435	46	3	92	69	101	94	41	62	-	1	2	-	3	1,741
2031	483	275	58	448	48	4	94	72	104	96	42	64	-	1	2	-	3	1,794
2032	498	284	60	462	49	4	97	74	107	99	43	66	-	1	2	-	3	1,849
2033	513	292	62	476	51	4	100	76	110	102	45	68	-	1	2	-	3	1,905
2034	529	301	64	491	52	4	103	78	113	106	46	70	-	1	2	-	3	1,964
2035	545	311	66	506	54	4	106	81	117	109	47	72	-	2	3	-	3	2,024
2036	561	320	68	521	55	4	110	83	120	112	49	74	-	2	3	-	3	2,086

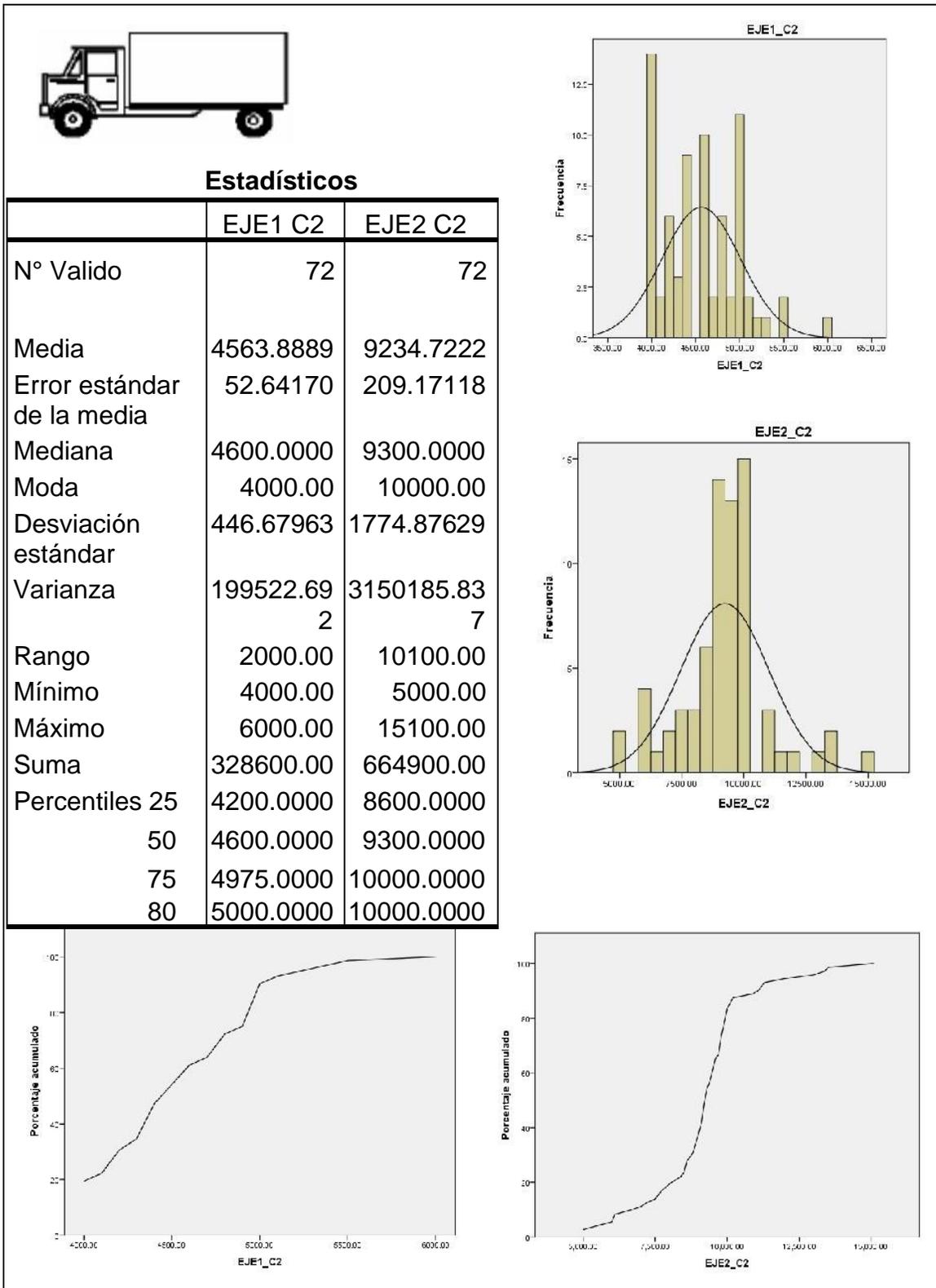
Año	Vehículos de Pasajeros							Vehículos de Carga							Otros Vehículos Pesados			TPDA
	Vehículos Livianos				Autobuses			Camiones			Trailer Articulado		Camión Remolque		V.A	V.C	O t r o s	
	M o t o s	Autos	J e e p	Cmta.	Mc Bus <15 pas.	Mn Bus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx- Sx <= 4e	Tx- Sx >= 5e	Cx- Rx <= 4e	Cx- Rx >= 5e				
2037	579	330	70	537	57	4	113	86	124	116	50	76	-	2	3	-	3	2,149
2038	596	340	72	553	59	4	117	88	128	119	52	79	-	2	3	-	3	2,215
2039	615	350	74	570	61	4	120	91	132	123	53	81	-	2	3	-	3	2,283
2040	633	361	76	588	63	5	124	94	136	127	55	84	-	2	3	-	4	2,353
2041	653	372	79	606	65	5	128	97	140	130	57	86	-	2	3	-	4	2,425

Cmta: Camioneta, Mc Bus: Micro Bus, Mn Bus: Mini Bus, V.A: Vehículo Agrícola, V.C: Vehículo de Construcción,

T.R: Tracción Animal

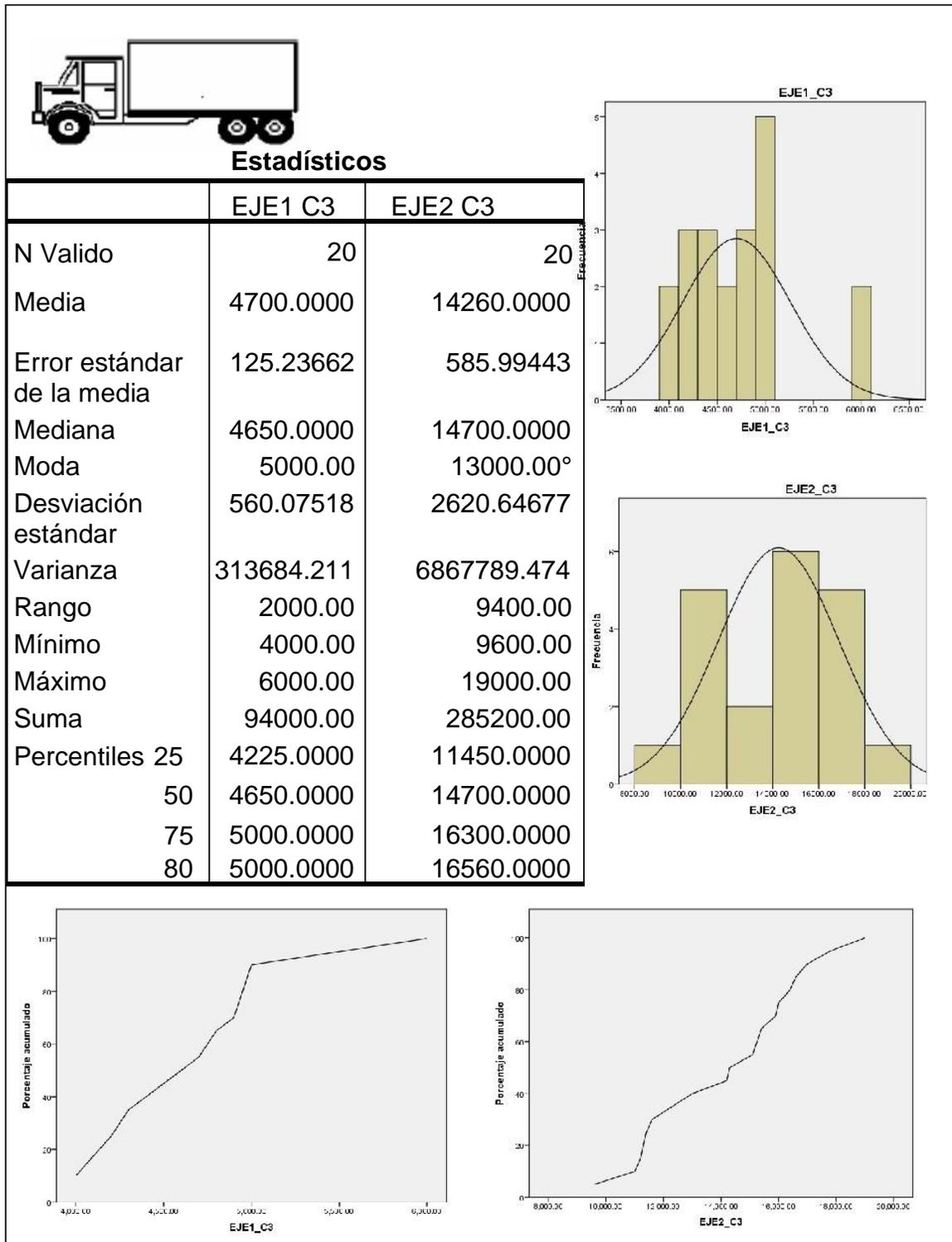
Fuente: Elaboración propia,

Tabla N° 40. Análisis estadístico de la carga de un camión C2



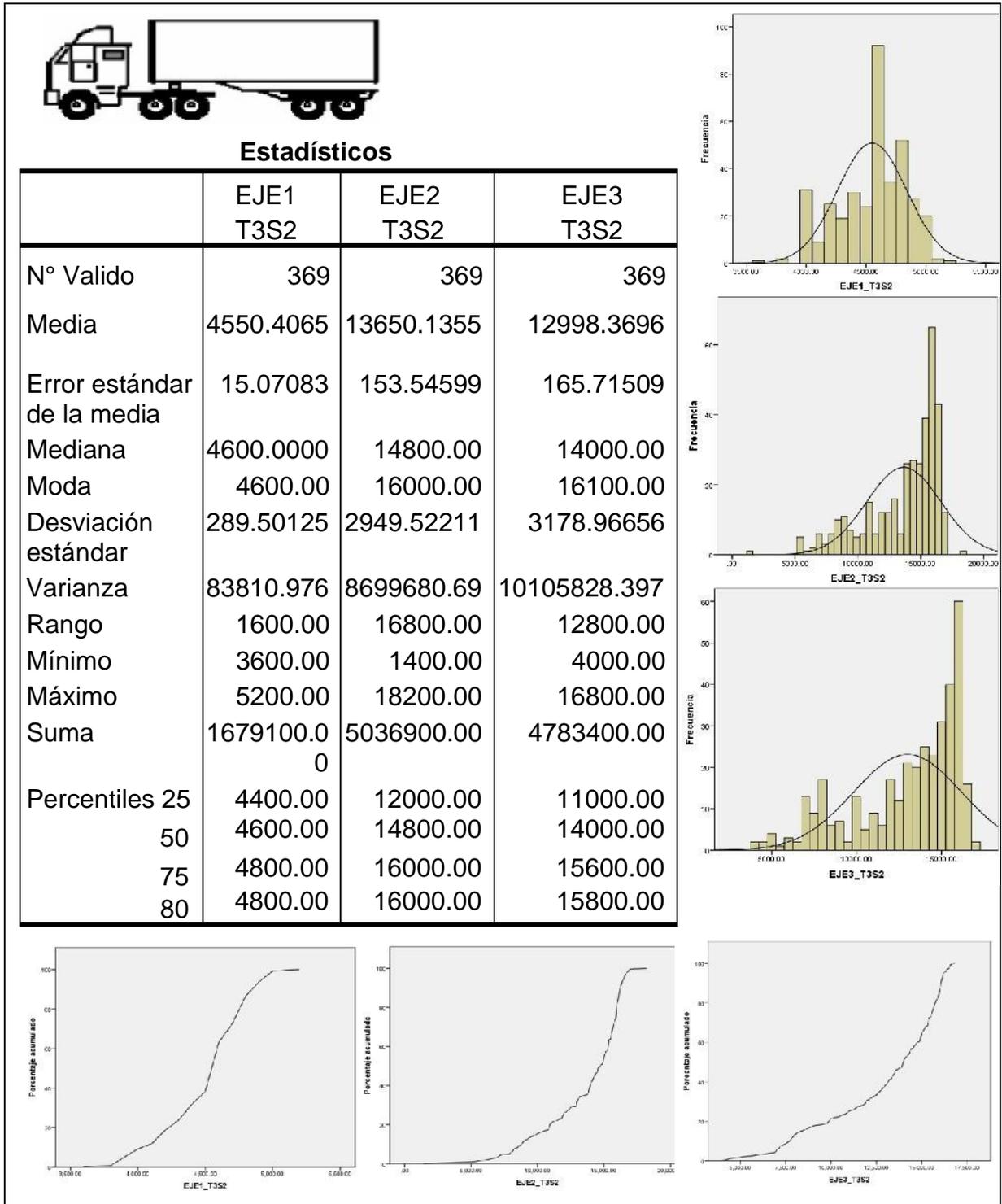
Fuente: Registro de Bascula de Lovago

Tabla N° 41. Análisis estadístico de la carga de un camión C3



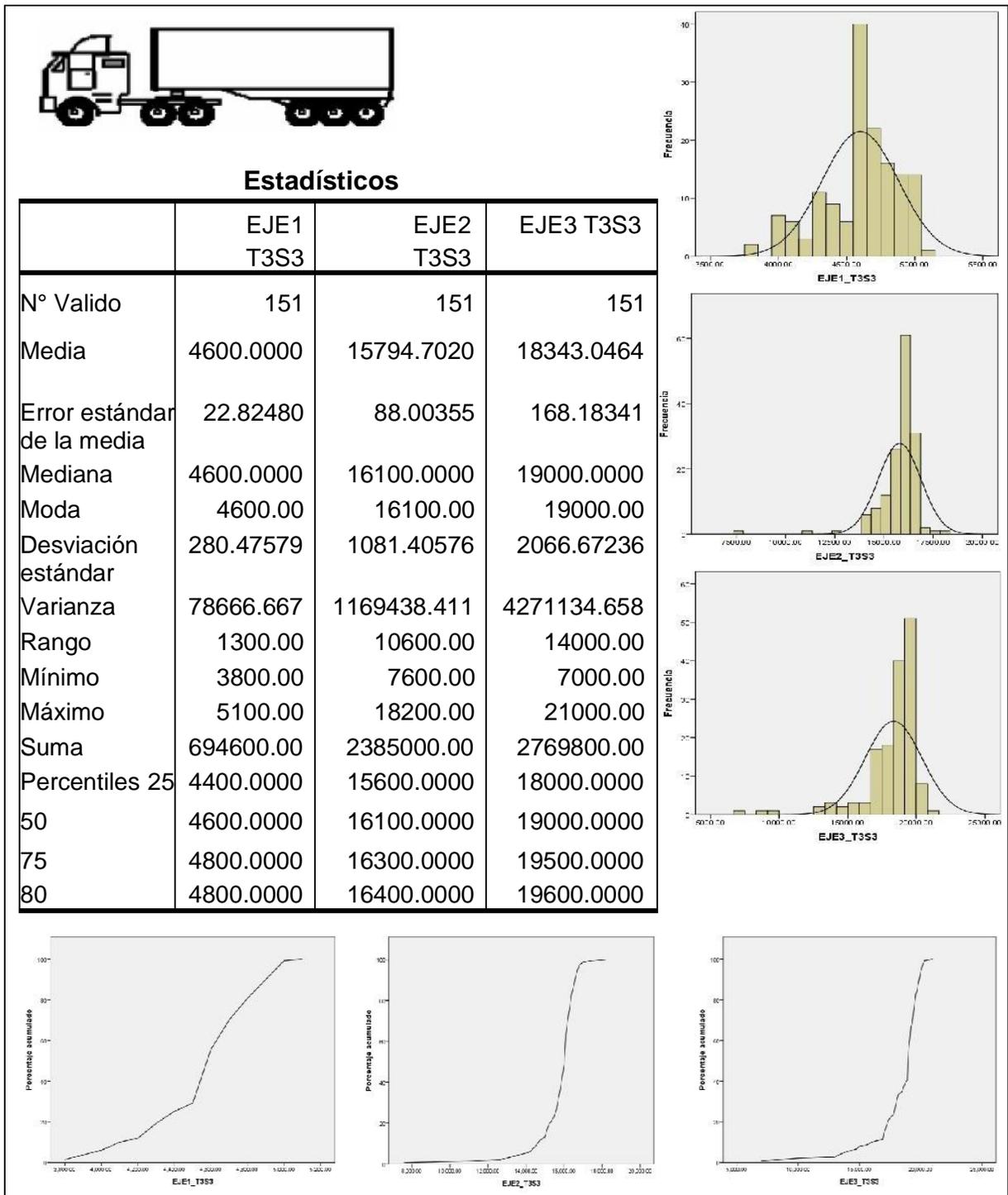
Fuente: Registro de Bascula de Lovago

**Tabla N° 42. Análisis estadístico de la carga de un camión T3S2**



Fuente: Registro de Bascula de Lovago

**Tabla N° 43. Análisis estadístico de la carga de un camión T3S3**



Fuente: Registro de Bascula de Lovago

**Tabla N° 44. Factores Equivalentes de Carga**

Vehículos de Pasajeros							Vehículos de Carga							Otros Vehículos Pesados		
Vehículos Livianos				Autobuses			Camiones			Tráiler Articulado		Camión Remolque		V.A	V.C	Otros
Motos	Autos	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	Cx-Rx <= 4e	Cx-Rx >= 5e			
-	0.0002	0.0002	0.0040	0.17	0.75	1.98	0.75	2.32	1.58	2.63	2.17					

Cmta: Camioneta, Mc Bus: Micro Bus, Mn Bus: Mini Bus, V.A: Vehículo Agrícola, V.C: Vehículo de Construcción,

T.R: Tracción Animal

Fuente: Proporcionado por la Bascula de Lovago

**Tabla N° 45. Proyección de Ejes Equivalentes (ESAL'S)**

Año	Vehículos de Pasajeros							Vehículos de Carga					ESAL
	Vehículos Livianos				Autobuses			Camiones			Trailer Articulado		
	Motos	A u t o s	Jeep	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	
2021	-	15	3	484	2,191	714	50,452	14,496	64,909	41,156	29,758	37,386	241,564
2022	-	15	3	499	2,258	736	51,996	14,939	66,895	42,415	30,669	38,530	248,956
2023	-	16	3	514	2,327	758	53,587	15,397	68,942	43,713	31,608	39,709	256,574
2024	-	16	3	530	2,398	782	55,227	15,868	71,052	45,051	32,575	40,924	264,425
2025	-	17	4	546	2,471	805	56,917	16,353	73,226	46,429	33,572	42,176	272,517
2026	-	17	4	563	2,547	830	58,659	16,854	75,467	47,850	34,599	43,467	280,856
2027	-	18	4	580	2,625	855	60,454	17,369	77,776	49,314	35,658	44,797	289,450
2028	-	18	4	598	2,705	882	62,303	17,901	80,156	50,823	36,749	46,168	298,307
2029	-	19	4	616	2,788	909	64,210	18,449	82,609	52,378	37,873	47,581	307,435
2030	-	19	4	635	2,873	936	66,175	19,013	85,137	53,981	39,032	49,037	316,843
2031	-	20	4	654	2,961	965	68,200	19,595	87,742	55,633	40,226	50,537	326,538
2032	-	21	4	674	3,052	995	70,287	20,195	90,427	57,335	41,457	52,084	336,530
2033	-	21	5	695	3,145	1,025	72,437	20,813	93,194	59,090	42,726	53,677	346,828
2034	-	22	5	716	3,242	1,056	74,654	21,449	96,046	60,898	44,033	55,320	357,441
2035	-	23	5	738	3,341	1,089	76,938	22,106	98,984	62,761	45,381	57,013	368,379
2036	-	23	5	761	3,443	1,122	79,293	22,782	102,013	64,682	46,769	58,757	379,651
2037	-	24	5	784	3,548	1,156	81,719	23,479	105,135	66,661	48,201	60,555	391,269
2038	-	25	5	808	3,657	1,192	84,220	24,198	108,352	68,701	49,676	62,408	403,241
2039	-	26	5	833	3,769	1,228	86,797	24,938	111,668	70,803	51,196	64,318	415,581

Año	Vehículos de Pasajeros							Vehículos de Carga					ESAL
	Vehículos Livianos				Autobuses			Camiones			Tráiler Articulado		
	M o t o s	A u t o s	J e e p	Cmta.	McBus <15 pas.	MnBus 15-30 s.	Bus	Liv. 2-5 Ton	C2 5 + Ton	C3	Tx-Sx <= 4e	Tx-Sx >= 5e	
2040	-	26	6	858	3,884	1,266	89,453	25,701	115,085	72,970	52,762	66,286	428,297
2041	-	27	6	885	4,003	1,305	92,190	26,488	118,606	75,203	54,377	68,314	441,403
Total	-	301	64	9,804	44,368	14,460	1,021,789	293,578	1,314,575	833,511	602,685	757,163	6,972,089

Cmta: Camioneta, Mc Bus: Micro Bus, Mn Bus: Mini Bus, V.A: Vehículo Agrícola, V.C: Vehículo de Construcción,

T.R: Tracción Animal

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 46. Resultado de Retrocalculo**

Est.	Ruta	Sensor	MR (kPa) sin corregir	Ep (kPa)	F.C AASHTO	Mr (Mpa) corregido AASHTO	SN pulg
234+000	Nic-71	D 450	121,212.00	454,707.00	0.33	40	3.49
234+025	Nic-71	D 450	126,984.00	599,259.00	0.33	42	3.82
234+050	Nic-71	D 600	135,021.00	1,266,271.00	0.33	45	4.91
234+075	Nic-71	D 600	148,148.00	792,530.00	0.33	49	4.20
234+100	Nic-71	D 600	193,939.00	1,032,562.00	0.33	64	4.58
234+125	Nic-71	D 450	142,857.00	654,745.00	0.33	47	3.94
234+150	Nic-71	D 600	222,222.00	1,113,860.00	0.33	73	4.70
234+175	Nic-71	D 450	197,531.00	361,874.00	0.33	65	3.23
234+200	Nic-71	D 600	174,863.00	1,080,070.00	0.33	58	4.65
234+225	Nic-71	D 450	123,077.00	604,735.00	0.33	41	3.84
234+250	Nic-71	D 450	161,616.00	605,301.00	0.33	53	3.84
234+275	Nic-71	D 450	141,593.00	368,464.00	0.33	47	3.25
234+300	Nic-71	D 450	190,476.00	778,073.00	0.33	63	4.17
234+325	Nic-71	D 450	188,235.00	647,588.00	0.33	62	3.92
234+350	Nic-71	D 450	181,818.00	676,499.00	0.33	60	3.98
234+375	Nic-71	D 450	225,352.00	545,547.00	0.33	74	3.71
234+400	Nic-71	D 600	148,148.00	826,151.00	0.33	49	4.26

Est.	Ruta	Sensor	MR (kPa) sin corregir	Ep (kPa)	F.C AASHTO	Mr (Mpa) corregido AASHTO	SN pulg
234+425	Nic-71	D 450	135,593.00	669,237.00	0.33	45	3.97
234+450	Nic-71	D 450	166,667.00	712,885.00	0.33	55	4.05
234+475	Nic-71	D 450	152,381.00	536,238.00	0.33	50	3.68
234+500	Nic-71	D 600	140,351.00	739,480.00	0.33	46	4.10
234+525	Nic-71	D 600	140,351.00	898,891.00	0.33	46	4.38
234+550	Nic-71	D 450	197,531.00	408,355.00	0.33	65	3.36
234+575	Nic-71	D 450	160,000.00	529,697.00	0.33	53	3.67
234+600	Nic-71	D 600	159,204.00	991,545.00	0.33	53	4.52
234+625	Nic-71	D 450	141,593.00	627,693.00	0.33	47	3.88
234+650	Nic-71	D 450	164,948.00	725,730.00	0.33	54	4.08
234+675	Nic-71	D 450	117,647.00	628,084.00	0.33	39	3.88
234+700	Nic-71	D 450	216,216.00	660,200.00	0.33	71	3.95
234+725	Nic-71	D 450	163,265.00	725,703.00	0.33	54	4.08
234+750	Nic-71	D 450	145,455.00	448,825.00	0.33	48	3.47
234+775	Nic-71	D 450	145,455.00	609,445.00	0.33	48	3.85
234+800	Nic-71	D 600	135,021.00	1,233,642.00	0.33	45	4.86
234+825	Nic-71	D 450	144,144.00	439,070.00	0.33	48	3.45
234+850	Nic-71	D 450	166,667.00	355,798.00	0.33	55	3.21

Est.	Ruta	Sensor	MR (kPa) sin corregir	Ep (kPa)	F.C AASHTO	MR (Mpa) corregido AASHTO	SN pulg
234+875	Nic-71	D 450	140,351.00	604,935.00	0.33	46	3.84
234+900	Nic-71	D 450	163,265.00	721,388.00	0.33	54	4.07
234+925	Nic-71	D 450	163,265.00	483,697.00	0.33	54	3.56
234+950	Nic-71	D 300	209,150.00	418,669.00	0.33	69	3.39
234+975	Nic-71	D 450	166,667.00	504,685.00	0.33	55	3.61
235+000	Nic-71	D 450	168,421.00	413,636.00	0.33	56	3.38
235+025	Nic-71	D 450	153,846.00	697,337.00	0.33	51	4.02
235+050	Nic-71	D 450	142,857.00	584,268.00	0.33	47	3.79
235+075	Nic-71	D 450	161,616.00	476,832.00	0.33	53	3.54
235+000	Nic-71	D 450	219,178.00	482,093.00	0.33	72	3.56
235+125	Nic-71	D 450	207,792.00	619,225.00	0.33	69	3.87
235+150	Nic-71	D 450	161,616.00	316,742.00	0.33	53	3.09
235+175	Nic-71	D 450	200,000.00	523,620.00	0.33	66	3.66
235+225	Nic-71	D 450	235,294.00	754,349.00	0.33	78	4.13
235+250	Nic-71	D 450	183,908.00	577,473.00	0.33	61	3.78
235,275	Nic-71	D 450	188,235.00	440,362.00	0.33	62	3.45

<b>Est.</b>	<b>Ruta</b>	<b>Sensor</b>	<b>MR (kPa) sin corregir</b>	<b>Ep (kPa)</b>	<b>F.C AASHTO</b>	<b>MR (Mpa) corregido AASHTO</b>	<b>SN pulg</b>
235+300	Nic-71	D 450	140,351.00	387,945.00	0.33	46	3.31
235+325	Nic-71	D 450	166,667.00	713,941.00	0.33	55	4.05
235+350	Nic-71	D 450	190,476.00	884,837.00	0.33	63	4.35
235+375	Nic-71	D 450	222,222.00	550,906.00	0.33	73	3.72
235+400	Nic-71	D 600	118,519.00	673,365.00	0.33	39	3.98
235+425	Nic-71	D 450	152,381.00	536,238.00	0.33	50	3.68
235+450	Nic-71	D 450	137,931.00	540,758.00	0.33	46	3.70
235+475	Nic-71	D 450	183,908.00	676,287.00	0.33	61	3.98
235+500	Nic-71	D 450	246,154.00	649,285.00	0.33	81	3.93
235+525	Nic-71	D 450	183,908.00	460,089.00	0.33	61	3.50
235+550	Nic-71	D 450	213,333.00	475,744.00	0.33	70	3.54
235+575	Nic-71	D 450	192,771.00	375,825.00	0.33	64	3.27
235+600	Nic-71	D 450	202,532.00	443,602.00	0.33	67	3.46
235+625	Nic-71	D 450	188,235.00	400,141.00	0.33	62	3.34
235+650	Nic-71	D 450	190,476.00	528,427.00	0.33	63	3.67
235+675	Nic-71	D 450	192,771.00	369,947.00	0.33	64	3.26
235+700	Nic-71	D 450	225,352.00	435,057.00	0.33	74	3.44

Est.	Ruta	Sensor	MR (kPa) sin corregir	Ep (kPa)	F.C AASHTO	MR (Mpa) corregido AASHTO	SN pulg
235+775	Nic-71	D 450	144,144.00	462,206.00	0.33	48	3.51
235+800	Nic-71	D 450	142,857.00	397,846.00	0.33	47	3.34
235+825	Nic-71	D 450	168,421.00	478,706.00	0.33	56	3.55
235+850	Nic-71	D 450	111,111.00	486,259.00	0.33	37	3.57
235+875	Nic-71	D 450	213,333.00	450,924.00	0.33	70	3.48
235+900	Nic-71	D 450	177,778.00	389,397.00	0.33	59	3.31
235+925	Nic-71	D 450	140,351.00	423,708.00	0.33	46	3.41
235+950	Nic-71	D 300	207,120.00	403,969.00	0.33	68	3.35
235+975	Nic-71	D 450	177,778.00	397,252.00	0.33	59	3.33
236+000	Nic-71	D 450	168,421.00	433,556.00	0.33	56	3.43
236+025	Nic-71	D 450	150,943.00	562,860.00	0.33	50	3.74
236+050	Nic-71	D 450	152,381.00	342,337.00	0.33	50	3.17
236+075	Nic-71	D 450	238,806.00	443,661.00	0.33	79	3.46
236+100	Nic-71	D 450	210,526.00	466,527.00	0.33	69	3.52
236+125	Nic-71	D 450	192,771.00	692,326.00	0.33	64	4.01
236+200	Nic-71	D 450	262,295.00	487,125.00	0.33	87	3.57

Est.	Ruta	Sensor	MR (kPa) sin corregir	Ep (kPa)	F.C AASHTO	MR (Mpa) corregido AASHTO	SN pulg
236+225	Nic-71	D 450	188,235.00	376,950.00	0.33	62	3.28
236+250	Nic-71	D 450	229,391.00	487,874.00	0.33	76	3.57
236+275	Nic-71	D 450	170,213.00	330,732.00	0.33	56	3.14
236+300	Nic-71	D 300	229,391.00	425,642.00	0.33	76	3.41
236+325	Nic-71	D 300	242,424.00	451,559.00	0.33	80	3.48
236+350	Nic-71	D 300	201,258.00	354,861.00	0.33	66	3.21
236+375	Nic-71	D 300	237,037.00	411,497.00	0.33	78	3.37
236+400	Nic-71	D 450	158,416.00	377,391.00	0.33	52	3.28
236+450	Nic-71	D 450	128,000.00	520,646.00	0.33	42	3.65
236+500	Nic-71	D 45	172,043.00	487,425.00	0.33	57	3.57
236+525	Nic-71	D 450	188,235.00	609,902.00	0.33	62	3.85
236+550	Nic-71	D 450	231,884.00	532,392.00	0.33	77	3.68
236+575	Nic-71	D 450	222,222.00	762,457.00	0.33	73	4.14
236+625	Nic-71	D 450	164,948.00	684,499.00	0.33	54	4.00
236+660	Nic-71	D 300	304,762.00	533,619.00	0.33	101	3.68
236+700	Nic-71	D 300	177,778.00	328,922.00	0.33	59	3.13
236+750	Nic-71	D 300	193,939.00	315,182.00	0.33	64	3.09

<b>Est.</b>	<b>Ruta</b>	<b>Sensor</b>	<b>MR (kPa) sin corregir</b>	<b>Ep (kPa)</b>	<b>F.C AASHTO</b>	<b>MR (Mpa) corregido AASHTO</b>	<b>SN pulg</b>
236+775	Nic-71	D 300	270,042.00	458,787.00	0.33	89	3.50
236+800	Nic-71	D 300	231,884.00	313,728.00	0.33	77	3.08
236+825	Nic-71	D 450	242,424.00	685,845.00	0.33	80	4.00
236+850	Nic-71	D 450	202,532.00	539,699.00	0.33	67	3.69
236+875	Nic-71	D 300	222,222.00	474,137.00	0.33	73	3.54
236+900	Nic-71	D 300	165,375.00	333,126.00	0.33	55	3.14
236+925	Nic-71	D 300	224,561.00	382,050.00	0.33	74	3.29
236+950	Nic-71	D 450	190,476.00	411,571.00	0.33	63	3.37
236+975	Nic-71	D 300	209,150.00	447,462.00	0.33	69	3.47

Est: Estación, F.C: Factor Corrección

Fuente: Elaboración propia