



**UNIVERSIDAD
DEL AZUAY**

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Título del Trabajo de Titulación:

Análisis de alternativas y rediseño de pavimento flexible y rígido por el
método AASHTO 93 de la calle Hernán Malo para 10 años.

Trabajo previo a la obtención del grado académico de:

Ingeniero Civil

Autora:

Domenica Daniela Rodríguez Solís

Director:

Ing. Pablo Andrés Carvallo Corral

Cuenca – Ecuador

2023

AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer, en primer lugar, a Dios, por su bendición estoy logrando algo muy importante y significativo en mi vida, me permitió disfrutar de esta hermosa experiencia en la Universidad y hacer grandes amigos y compañeros de vida en especial a mí enamorado Carlos, conocer grandes profesionales, que me han impartido su conocimiento todo este tiempo de la mejor manera, en especial un agradecimiento a mi tutor, Ing. Pablo Carvallo, por su motivación y apoyo que me brindó a lo largo de este tiempo pude culminar con éxito mi trabajo de titulación.

En especial quiero agradecer a mi familia, a mis padres, Jorge y Lucia, por todo el sacrificio y esfuerzo que han hecho a lo largo de este tiempo para brindarme el estudio y poder lograr mi sueño, gracias por ser mi pilar y mi fuerza a lo largo de este camino. Gracias a mis hermanos por todo el apoyo, gracias a Jorgito Sebastián, que desde el cielo me ha guiado y cuidado con todo su amor, a mi hermano Nicolás, por todo el aliento brindado en este tiempo, y mi mayor inspiración mi hermano Sebastián, por ti ha valido la pena todo este sacrificio, les amo con todo mi corazón, gracias por ser mi mayor motivación. ¡Gracias!

Daniela Rodríguez Solís.

**RESUMEN:**

En el rediseño de la calle Hernán Malo se evaluaron las diferentes alternativas de pavimentos guiado por el método AASHTO 93. La metodología utilizada fue realizar un estudio de campo y un diseño técnico, delimitando el área de estudio, y apoyado en una hoja electrónica. Los estudios de suelos se realizaron en un laboratorio externo de la universidad y el estudio de tránsito se realizó a partir de la colocación de cámaras en un punto estratégico durante veinte y cuatro horas los siete días de la semana. A través de los resultados obtenidos, se procedió a rediseñar en pavimento flexible y rígido, se determinó que la calle Hernán Malo al estar ubicada en una zona escolar tiene un nivel de saturación alto en las horas pico por lo que se recomienda utilizar pavimento flexible, por las facilidades de construcción y mantenimiento de la infraestructura.

Palabras clave: Palabras Clave: conteo, estudio de suelos, flexible, pavimento, rígido.

ABSTRACT:

In the redesign of Hernan Malo Street, the different pavement alternatives guided by the AASHTO 93 method were evaluated. The methodology used was to carry out a field study and a technical design, delimiting the study area, and supported by an electronic sheet. The soil studies were carried out in an external laboratory of the university and the transit study was carried out from the placement of cameras in a strategic point for twenty-four hours, seven days a week. Through the results obtained, we proceeded to redesign the flexible and rigid pavement, it was determined that Hernan Malo Street is located near a school area that has a high saturation level at peak hours, so it is recommended to use the flexible pavement, for the facilities of construction and maintenance of the infrastructure.

Keywords: counting, flexible, pavement, rigid, soil study.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

AGRADECIMIENTOS	i
RESUMEN:	ii
ABSTRACT:	ii
INTRODUCCIÓN	1
1 CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN	2
1.1 Marco teórico	3
1.2 Metodología	5
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS MÉTODOS DE LA AASHTO 93 DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES.	7
2.1 Historia del pavimento	7
2.2 ¿Qué es un pavimento?	7
2.3 Clasificación de los pavimentos	8
2.4 Comportamiento de un pavimento	10
2.5 Materiales para un pavimento	11
2.5.1 Hormigón de cemento Portland	11
2.5.2 Concreto Asfáltico	12
✓ Cementos Asfálticos	12
2.5.3 Bases	14
✓ Bases tratadas con cemento	14
✓ Bases tratadas con asfalto	16
2.5.4 Coeficiente estructural o de capa	16
2.5.5 Bases permeables	19
3 TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL.	20
3.1 Objetivo del método AASHTO para la caracterización del tránsito	20
3.2 Aspectos conceptuales	20
3.3 Conversión de tránsito en ESALS	20

3.4	Mediciones de flujo	21
3.5	Variaciones de tráfico	22
3.6	Contabilización Manual	23
3.7	Contabilización Automática	23
3.8	Consideraciones Importantes	24
3.9	Procedimientos para el conteo manual	25
1.1.1.	Plantilla para el conteo manual	27
3.9.1	Plantilla para el conteo manual	28
3.9.2	Proyección	33
3.9.3	Cálculo de ESALS	37
3.9.4	Cálculo de ESALS de un pavimento flexible	38
3.9.5	Cálculo de ESALS de un pavimento rígido	42
4	ENSAYOS DE SUELOS	46
4.1	Métodos empleados en los ensayos de carreteras	46
4.2	Métodos basados en la mecánica de suelos	46
4.2.1	Método de índice de grupo	46
4.2.2	Métodos endafológicos	46
4.3	Métodos basados en la resistencia	46
4.3.1	Método del Valor Soporte California (CBR)	47
4.3.2	Método del Valor R de Hveem	47
4.3.3	Métodos basados en ensayos de carga-deformación	47
4.3.4	Métodos basados en ensayos triaxiales	47
4.4	Métodos de diseño basados en ensayos de carreteras	48
4.4.1	Road Test de Beates	48
4.4.2	Road Test de Maryland	48
4.4.3	Road Test de la WASHO	49
4.4.4	Road Test de la ASSHO	50

4.5	Ensayo de compactación proctor modificado	50
4.6	Clasificación de los suelos	53
4.7	Límites de Atterberg	55
4.8	Sistemas de clasificación de los suelos	56
4.9	Aplicación de los métodos	58
4.10	Calicata	62
4.11	Resultados obtenidos en laboratorio	63
5	REDISEÑO DE LOS PAVIMENTOS	69
5.1	Periodo de diseño	69
5.2	Serviciabilidad	70
5.3	Confiabilidad	71
5.4	Drenaje	73
5.5	Módulo de Resiliencia	75
5.6	Diseño de pavimento flexible	75
5.7	Diseño de pavimento rígido	77
5.8	Transferencia de Cargas	78
5.9	Diseño de juntas	80
5.10	Tipos de juntas	80
5.11	Espaciamiento entre juntas	80
5.12	Resultados del diseño de pavimento flexible	80
5.13	Resultados del diseño de pavimento rígido	84
	CONCLUSIONES	89
	RECOMENDACIÓN	90
	BIBLIOGRAFÍA	91
	ANEXOS	94

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1-1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO.</i>	5
<i>Figura 2-1: Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos.</i>	9
<i>Figura 2-2 Gráfico de granulometrías para agregados a usar en concretos asfálticos.</i> <i>Fuente: (AASHTO 93, 2006)</i>	12
<i>Figura 2-3: Gráfico de granulometrías. Resistencia mínima requerida a la compresión a los 7 días para mezclas de suelo-cemento que contienen material retenido en TN°4.</i>	15
<i>Figura 2-4: Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes.</i>	16
<i>Figura 2-5: Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes.</i>	17
<i>Figura 2-6: Relación entre el coeficiente estructural para base tratada con cemento distintos parámetros resistentes.</i>	17
<i>Figura 2-7: Relación entre el coeficiente estructural para base tratada con asfalto y distintos parámetros</i>	18
<i>Figura 3-1: Inicio de conteo Automático</i>	26
<i>Figura 3-2: Evidencia de la instalación de cámaras para el conteo</i>	26
<i>Figura 3-3: Vehículo liviano</i>	28
<i>Figura 3-4: Camión de dos ejes</i>	28
<i>Figura 3-5: Buses con 2 ejes</i>	28
<i>Figura 3-6: Tráiler</i>	28
<i>Figura 4-1: Contenido de humedad</i>	55
<i>Figura 4-2: Sistema de clasificación AASHTO</i>	59
<i>Figura 4-3: Sistema de clasificación SUCS GRUESOS</i>	61
<i>Figura 4-4: Sistema de clasificación SUCS FINOS.</i>	62
<i>Figura 4-5: Lugar de toma de la muestra</i>	63

<i>Figura 4-6: Muestra analizada en el laboratorio.</i>	63
<i>Figura 4-7: Estratigrafía de la calicata.</i>	64
<i>Figura 4-8: Clasificación según la SUCS y la AASHTO.</i>	65
<i>Figura 4-9: Resultados del ensayo de compactación del suelo.</i>	65
<i>Figura 4-10: Resultados del ensayo de compactación del suelo.</i>	66
<i>Figura 4-11: Ensayo CBR, contenido de agua.</i>	66
<i>Figura 4-12: Esponjamiento y ensayo de penetración.</i>	67
<i>Figura 4-13: Resultado del ensayo de CBR.</i>	68
<i>Figura 5-1: Módulo de resiliencia recomendado por la AASHTO.</i>	75
<i>Figura 5-2: Transferencia de carga longitudinal.</i>	78
<i>Figura 5-3: Demostración del diseño del pavimento rígido.</i>	87

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 2-1</i>	13
<i>Tabla 3-1</i>	29
<i>Tabla 3-2</i>	30
<i>Tabla 3-3</i>	31
<i>Tabla 3-4</i>	32
<i>Tabla 3-5</i>	32
<i>Tabla 3-6</i>	33
<i>Tabla 3-7</i>	34
<i>Tabla 3-8</i>	35
<i>Tabla 3-9</i>	36
<i>Tabla 3-10</i>	36
<i>Tabla 3-11</i>	38
<i>Tabla 3-12</i>	39
<i>Tabla 3-13</i>	39
<i>Tabla 3-14</i>	40
<i>Tabla 3-15</i>	42
<i>Tabla 3-16</i>	42
<i>Tabla 3-17</i>	43
<i>Tabla 3-18</i>	44
<i>Tabla 3-19</i>	45
<i>Tabla 5-1</i>	69
<i>Tabla 5-2</i>	71
<i>Tabla 5-3</i>	72
<i>Tabla 5-4</i>	73
<i>Tabla 5-5</i>	74
<i>Tabla 5-6</i>	74
<i>Tabla 5-7</i>	75
<i>Tabla 5-8</i>	79
<i>Tabla 5-9</i>	81
<i>Tabla 5-10</i>	82
<i>Tabla 5-11</i>	83
<i>Tabla 5-12</i>	84

Tabla 5-13	86
Tabla 5-14	86
Tabla 5-15	88
Tabla 5-16	88

ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1</i>	23
<i>Ecuación 2</i>	33
<i>Ecuación 3</i>	56
<i>Ecuación 4</i>	57
<i>Ecuación 5</i>	57
<i>Ecuación 6</i>	58
<i>Ecuación 7</i>	71
<i>Ecuación 8</i>	76
<i>Ecuación 9</i>	77
<i>Ecuación 10</i>	85
<i>Ecuación 11</i>	85
<i>Ecuación 12</i>	85

ÍNDICE DE ANEXOS

<i>Anexo 1 Plantilla conteo Automático</i>	<i>94</i>
<i>Anexo 2 Cálculo del TPDA</i>	<i>95</i>
<i>Anexo 3 Cálculo Proyección para 10 años</i>	<i>96</i>
<i>Anexo 4 Cálculo ESALS flexible</i>	<i>97</i>
<i>Anexo 5 Cálculo ESALS Rígido.....</i>	<i>98</i>
<i>Anexo 6 Diseño Pavimento flexible</i>	<i>99</i>
<i>Anexo 7 Diseño Pavimento Rígido.....</i>	<i>100</i>
<i>Anexo 8 Diseño juntas Pavimento Rígido</i>	<i>101</i>
<i>Anexo 9 Ensayos de clasificación</i>	<i>102</i>
<i>Anexo 10 Ensayos de compactación</i>	<i>103</i>
<i>Anexo 11 Ensayo de CBR.....</i>	<i>104</i>
<i>Anexo 12 Ensayo de esponjamiento y penetración</i>	<i>105</i>
<i>Anexo 13 Gráfico de cálculo del CBR</i>	<i>106</i>
<i>Anexo 14 Coeficiente de capas.....</i>	<i>107</i>
<i>Anexo 15 Referencia juntas transversales</i>	<i>108</i>
<i>Anexo 16 Referencia juntas longitudinales.....</i>	<i>109</i>

INTRODUCCIÓN

En la actualidad un pavimento es esencial para una buena calidad de vida, con el pasar de los años han ido evolucionando es una de las infraestructuras más importantes de cualquier ciudad o área urbana, ya que permite el flujo de vehículos y peatones de manera segura y eficiente. Un buen diseño de pavimento es crucial para garantizar la seguridad y comodidad de los usuarios de las carreteras y autopistas. Un pavimento bien diseñado debe tener en cuenta muchos factores, como el tráfico, el clima y el tipo de vehículos que se usarán. Un pavimento mal diseñado puede provocar problemas como baches, fisuras y deslizamientos, lo que puede aumentar el riesgo de accidentes y reducir la vida útil del pavimento. Además, un buen diseño de pavimento también puede mejorar la eficiencia del tráfico y reducir los costos de mantenimiento a largo plazo. Sin embargo, con el paso del tiempo, la exposición a condiciones climáticas adversas y el tráfico constante, el pavimento puede deteriorarse y presentar problemas de seguridad vial y comodidad para los usuarios.

Por esta razón, se realizará el rediseño de la calle Hernán Malo para 10 años, para garantizar una mayor durabilidad, seguridad y comodidad para los usuarios. El rediseño de pavimento no sólo implica el cambio de su aspecto, sino también la aplicación de nuevas tecnologías y materiales para mejorar su calidad y rendimiento. En este sentido, el rediseño del pavimento es un proceso esencial para asegurar la eficiencia del sistema vial en una ciudad o área urbana, y garantizar la comodidad y seguridad de sus habitantes

1 CAPÍTULO 1: PROBLEMÁTICA Y JUSTIFICACIÓN

Cuenca es una ciudad que ha ido creciendo tanto poblacionalmente como automovilísticamente, al ser una de las ciudades más importantes del país y analizando el aspecto social y económico de las personas es necesario brindar a la comunidad un servicio de calidad en cuanto a pavimentación. Tener un buen pavimento genera un impulso económico grande tanto a nivel regional como nacional que entran al país por vía terrestre, incluso se llega hablar de la estética que tiene una ciudad al contar con la mayoría de vías pavimentadas. Podemos observar que la mayoría de calles en la ciudad de Cuenca tienen diferentes pavimentos ya sea en vías principales, colectoras o de servicio, que con el tiempo se van desgastando y generan diferentes molestias, es necesario analizar que pavimento va acorde a cada vía con relación a su TPDA (Tráfico Promedio Diario Anual). En la actualidad se implementa mucho los rediseños o mejoramientos de las vías puesto que cuando se diseñan desde cero se proyecta para una vida útil pero no se piensa en un mejoramiento o rediseño, en el caso de pavimento rígido la vida útil es de 20 a 40 años y en el caso de pavimento flexible la vida útil es de 10 a 20 años.

Un problema muy grande que tiene la calle Hernán Malo es que está ubicada en una falla geológica y es muy transitada, se necesita analizar más a profundidad que pavimento va acorde a esta calle. El tramo de calle que se tomará como referencia para el proyecto está aledaña una zona escolar y a esto se le puede sumar que conecta con la Autopista Panamericana Sur, al conectar áreas rurales es una calle muy transitada, se observa un desgaste de la capa asfáltica y baches de gran tamaño que molesta a la población que transita diariamente por ahí. Se tomó en consideración un tramo, puesto que, la calle Hernán Malo no es continua, es decir, le atraviesa la autopista y tiene un TPDA alto, que cabe recalcar que el tramo a realizar el nuevo diseño ya consta con un pavimento flexible por ende se habla de un rediseño del pavimento que se enfocara en 10 años.

El problema de rediseñar una vía es que se debe tomar una muestra del extracto de suelo hasta llegar a la subrasante y al estar ya hecha la vía es más complejo tomar la muestra, se debe analizar un lugar estratégico para no generar molestias a los usuarios mientras transiten por el lugar. La finalidad de este proyecto es realizar un nuevo diseño de la vía considerando su tipo de suelo reflejado en el laboratorio y el estudio de tráfico, analizando entre dos alternativas de pavimento que pueden ser rígido o flexible se puede escoger acorde a todos los parámetros y procedimientos para realizar los diseños que nos ofrece la AASHTO 93 y brindarle una mayor comodidad a la población futura y a los usuarios que viven y transitan por ahí.

1.1 Marco teórico

La necesidad de contar con condiciones adecuadas y un estilo de vida llevo al hombre a crear los pavimentos para surgir un desarrollo social y económico en cuanto a transporte. Según la (Asociación Española de Carreteras, 2020, como se citó Narváez, 2022) sus concepciones técnicas se dieron hasta la revolución industrial, donde se inventó el motora combustión interna y se podría recorrer largas distancias sin la necesidad de caballos; dando paso al estudio del suelo, su estabilidad, reposición del terreno y más adelante con la invención del neumático, se dieron nuevas perspectivas al contar con un medio cómodo para desplazarse en contraste con las ruedas de madera o hierro.

La metodología AASHTO 93 (Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte), permite diseñar pavimentos rígidos y flexibles a través de ecuaciones en donde intervienen varios parámetros de diseño las cuales dependen mucho del suelo, su ubicación y el tipo de carretera que se va a realizar. Al realizar un pavimento rígido hacemos referencia a que la última capa es de hormigón y cuando hablamos de pavimento flexible hacemos referencia a que la última capa es a base de mezclas asfálticas.

Cuando hablamos de pavimento hacemos referencia a un conjunto de capas estratificadas que están diseñadas para resistir grandes esfuerzos como las cargas de tráfico, estos no pueden superar los esfuerzos y deformaciones admisibles de las capas del suelo y la subrasante, “Estas cargas generan esfuerzos que deben ser transmitidos de forma continua y uniforme a la subrasante, evitando su excesiva deformación. Esta deformación depende directamente del diseño del pavimento, por ello es fundamental diseñarlo correctamente”. (Barreno, 2021)

Un proyecto de este tipo se caracteriza por presentar el siguiente esquema:

- CBR: El CBR o California Bearing Ratio fue propuesto en el año de 1929 por los ingenieros T.E Stanton y O. J. Porter del Departamento de Carreteras de California. A partir de ese momento, este método se popularizó en Europa y América, ya que el CBR es una manera de clasificar el suelo para uso en la construcción de diferentes pavimentos o como subrasante. (NARVÁEZ, 2022)
- TPDA: Tránsito promedio diario anual y se abrevia con las letras TPDA es una medida que representa el volumen promedio de tráfico en una carretera. Se calcula dividiendo el tránsito total anual entre 365 días. Este valor es crucial para justificar los costos en el análisis económico anual, así como para dimensionar adecuadamente los componentes estructurales y funcionales de la carretera. (MTOP,2013). Para llegar a la obtención del Tráfico promedio diario anual se debe pasar por una serie de factores de ajuste que son horario, diario, semanal y mensual.

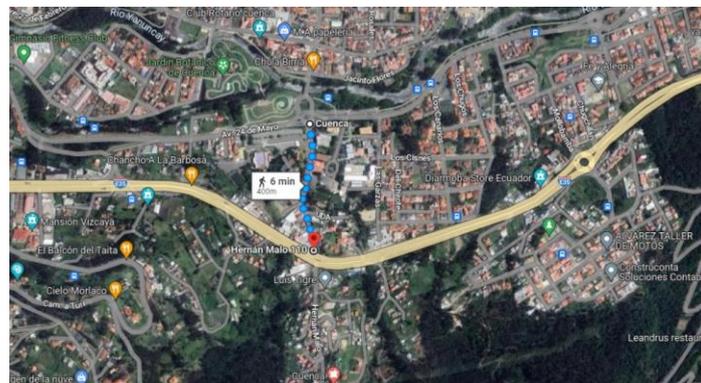
Para obtener el (TPDA) en un determinado punto de una carretera Para obtener el volumen de vehículos que circulan por un punto específico durante un año, es necesario realizar aforos continuos durante todo el año. A menudo, no es posible debido a limitaciones económicas y de tiempo. Es esencial contar con estaciones de aforos permanentes o que se

realicen de manera periódica para establecer factores de ajuste o expansión. Estos factores permiten convertir un volumen vehicular de un aforo corto (menos de 24 horas) en un día y mes específico en un volumen de tráfico promedio diario anual. (Cal et al., 1994, como se citó en Gordillo,2018).

1.2 Metodología

El desarrollo de este proyecto contara con dos partes importantes: estudio de campo y un nuevo diseño técnico. Para comenzar con este proyecto se definirá las limitaciones del área de estudio puesto que la Hernán Malo es una calle donde no tiene continuidad (**Figura 1-1**), y el tramo escogido es apto para el estudio puesto que hablamos de una zona escolar y residencial y consta con un pavimento flexible.

Figura 1-1: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO.



Fuente: Google Maps

Luego se implementara una revisión bibliográfica sobre los diferentes pavimentos que ofrece la AASHTO 93, cabe recalcar que la AASHTO ofrece tres alternativas de diseño de pavimentos, rígido, flexible y articulado, pero se va analizar solo dos casos flexible y rígido; se realizara una hoja de muestra en Excel para el conteo automático de tráfico para el TPDA la cual constara con las horas que se va a realizar el estudio, los vehículos, buses, camiones que circulan por la vía, se instalarán cámaras en el lugar del proyecto para poder

digitar el tráfico observado en una semana, que será desde las 7:00 am hasta las 7:00 pm, con este dato podemos sacar los ESALS que se necesita para el diseño.

Se tomará una muestra de suelo que será llevada al laboratorio de la Universidad del Azuay para realizar el estudio de CBR (California Bearing Ratio) con ayuda del laboratorista, y finalmente se presentará los dos diseños de pavimento tanto rígido como flexible y se conocerá cual es el más óptimo implementar en el nuevo rediseño

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE LOS MÉTODOS DE LA AASHTO 93 DE PAVIMENTOS RÍGIDOS Y FLEXIBLES.

2.1 Historia del pavimento

La historia de los pavimentos se remonta a la antigüedad, cuando las calles y caminos se construyeron a partir de tierra compactada o piedras sueltas. Los primeros pavimentos consistían en piedras dispuestas de forma regular para formar una superficie plana. Estos primeros pavimentos se encontraron en las calles de las antiguas ciudades egipcias, romanas y griegas.

La creación de vías de comunicación ha sido un indicador temprano de sociedades desarrolladas desde tiempos antiguos. A medida que las urbes de las primeras civilizaciones crecían en tamaño y población, se hizo necesario establecer contacto con otras regiones para asegurar el suministro y transporte de alimentos a otros consumidores. (Ramos,2007)

Durante el siglo XX, se produjo una revolución en la pavimentación con la invención del asfalto modificado y el hormigón de alta resistencia. Estos materiales permitieron la construcción de carreteras y pistas de aterrizaje más resistentes y duraderas, hoy en día, se utiliza una amplia variedad de materiales y técnicas de pavimentación, desde asfalto y hormigón hasta adoquines. Los avances en tecnología y materiales siguen siendo la creación de pavimentos cada vez más resistentes, duraderos y sostenibles.

2.2 ¿Qué es un pavimento?

Un pavimento se compone de varias capas superpuestas, diseñadas y construidas con materiales adecuados y compactados. Estas capas se apoyan en la subrasante de una vía, creada durante el proceso de exploración, y deben resistir los esfuerzos del tránsito durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. (Montejo, 2002). Los pavimentos deben cumplir con ciertas características para ser aptos en su uso, por ejemplo,

deben resistir las cargas de tráfico, gran durabilidad, buen drenaje, cómodo para los usuarios, resistir a grandes ondas de calor, a sismos, etc.

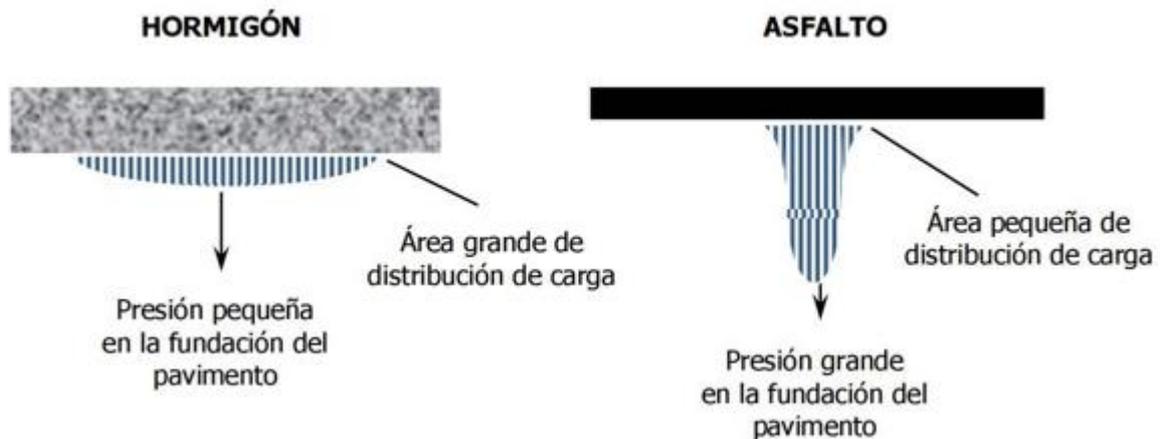
2.3 Clasificación de los pavimentos

La guía AASHTO 93 presenta tres tipos de pavimentos: flexible, rígido y articulado que están normados y tienen una secuencia de parámetros a cumplir. El pavimento articulado es un tipo de pavimento que se compone de bloques o piezas de hormigón o adoquines de diferentes formas y tamaños que se colocan juntos formando una superficie continua. A diferencia de otros tipos de pavimentos, como el asfalto o el concreto, el pavimento articulado se compone de piezas individuales que se ajustan entre sí sin ningún tipo de adhesivo o material de unión. Este tipo de pavimento es muy común en áreas urbanas y peatonales, así como en patios, plazas y zonas comerciales. Los bloques de pavimento articulado suelen ser más pequeños que los adoquines tradicionales y se disponen de manera uniforme para crear una superficie plana y resistente. (AASHTO 93, 2006)

Entre las ventajas del pavimento articulado se encuentran su durabilidad, resistencia y facilidad de mantenimiento. Además, debido a su diseño modular, es fácil reemplazar cualquier pieza dañada sin tener que reparar toda la superficie. También es resistente a la carga de vehículos y tiene una buena capacidad de drenaje, lo que lo hace ideal para áreas con alta precipitación pluvial. Se puede decir que, en resumen, el pavimento articulado es una opción popular para áreas peatonales y urbanas debido a su durabilidad, resistencia y facilidad de mantenimiento, así como su capacidad de drenaje y adaptabilidad a diferentes formas y diseños. (AASHTO 93, 2006)

Podemos evidenciar el esquema de comportamiento de un pavimento flexible y rígido (*Figura 2-1*) lo cual se refleja cómo va actuar el pavimento.

Figura 2-1: Esquema del comportamiento de pavimentos flexibles y rígidos.



Fuente: (AASHTO 93, 2006)

En un pavimento rígido, la losa de hormigón distribuye bien las cargas de las ruedas de los vehículos, resultando en tensiones bajas en la subrasante. En cambio, en un pavimento flexible, el concreto asfáltico, al ser menos rígido, se deforma y produce tensiones más altas en la subrasante. (AASHTO 93, 2006)

Debido a la rigidez y alto módulo de elasticidad del hormigón, los pavimentos rígidos basan su capacidad portante en la losa de hormigón más que en la capacidad de la subrasante.

Los pavimentos rígidos pueden dividirse en tres tipos:

- Hormigón simple con juntas.
- Hormigón armado con juntas.
- Hormigón armado con refuerzo continuo.

El pavimento de hormigón simple no tiene armadura en la losa y las juntas están separadas entre 2.50 y 5 metros. Según AASHTO 93 (2006), estas juntas pueden tener o no dispositivos para transferir cargas.

Los pavimentos de hormigón con juntas presentan un mayor espacio entre ellas, oscilando entre 5 y 12 metros, y cuentan con una armadura distribuida en la losa para controlar y cerrar las fisuras de contracción. Se abordarán con más detalle en el capítulo correspondiente.

Los pavimentos de hormigón armado continuo se caracterizan por tener armadura longitudinal continua y carecer de juntas transversales, a excepción de las juntas de construcción. En algunos casos, la armadura transversal puede ser prescindible. En comparación con los pavimentos de hormigón armado con juntas, este tipo de pavimento posee una mayor cantidad de armadura, cuyo propósito es mantener el espaciamiento adecuado entre las fisuras y asegurar que estas se mantengan cerradas. (AASHTO 93, 2006)

Los pavimentos flexibles están compuestos por varias capas y se caracterizan por tener una capa superior de concreto asfáltico de alta calidad, que se encuentra en la superficie para soportar las tensiones mayores. El pavimento flexible distribuye la carga a través de las capas hasta que llega a un nivel aceptable para la subrasante. Debajo de la capa de concreto asfáltico se encuentra una base compuesta por piedra partida, grava bien graduada o materiales estabilizados, mientras que debajo de esta base se coloca una subbase de menor calidad (AASHTO 93, 2006).

2.4 Comportamiento de un pavimento

La condición física de un pavimento, como la presencia de grietas, fallas o peladuras, afecta su comportamiento estructural y puede disminuir su capacidad de soporte o requerir mantenimiento. La funcionalidad de un pavimento se refiere a qué tan bien cumple su propósito para el usuario. En este caso, la comodidad y la facilidad de transitar son las características más importantes. (AASHTO 93, 1997)

2.5 Materiales para un pavimento

Se buscan materiales de buena calidad para generar un buen pavimento y cada vez está tomando más consenso el uso de módulos elásticos para caracterizar los materiales usados por la AASHTO 86-93, los materiales son: Hormigón de cemento Portland, concreto asfáltico, bases granulares estabilizadas y no estabilizadas.

2.5.1 Hormigón de cemento Portland

Según la AASHTO 93 el hormigón es un material formado por materiales granulares (piedra partida o grava y arena) embebidos en una pasta de cemento que hace de ligante. Los materiales granulares provienen de la naturaleza y deben cumplir con ciertos requisitos de tamaño de partícula. El cemento se produce al cocinar piedra caliza y arcilla para formar clinker, que luego se muele finamente y se le agrega un 5% de yeso para obtener el cemento final. (2006)

AASHTO reconoce ocho clases de cemento:

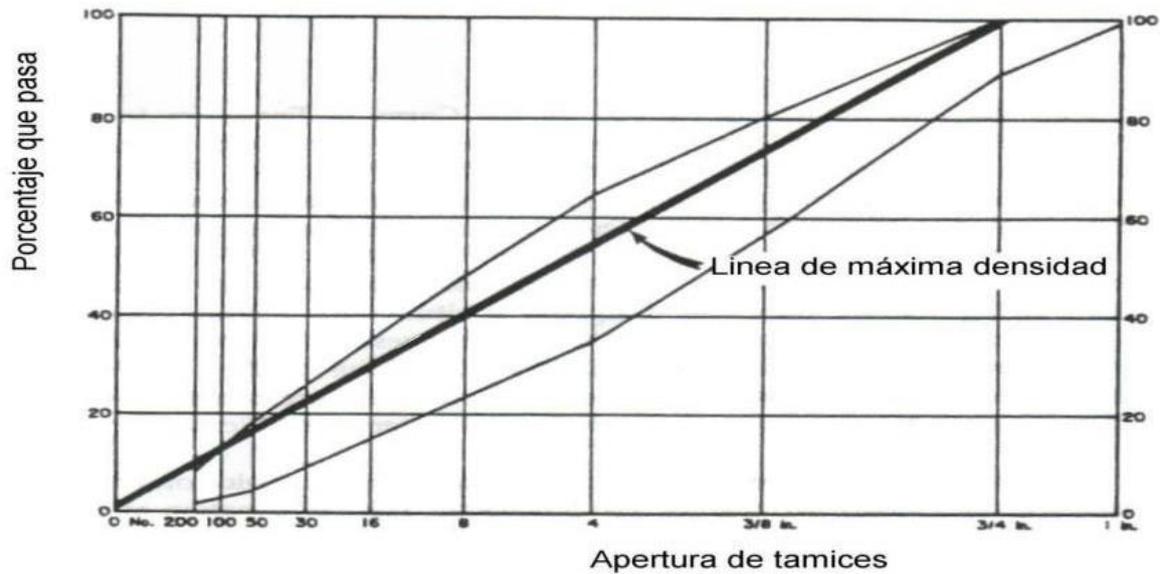
1. Tipo I-Normal
2. Tipo I-a - Similar al I, pero con aire incorporado
3. Tipo II - Moderado calor de hidratación, moderada resistencia a la acción de los sulfatos
4. Tipo II-a – Similar al II, pero con aire incorporado
5. Tipo III - De alta resistencia inicial
6. Tipo III-a – Similar al III, pero con aire incorporado
7. Tipo IV - Bajo calor de hidratación, lento incremento de resistencia
8. Tipo V - Alta resistencia a los sulfatos

2.5.2 Concreto Asfáltico

El concreto asfáltico está conformado por agregados que se encuentran inmersos en una matriz de cemento asfáltico, que llena los espacios vacíos y los une. Esta sustancia se mantiene flexible y garantiza la integridad estructural de la mezcla, propiedades cohesivas necesarias a los agregados. Debido a que el cemento asfáltico es un material semi-sólido a temperatura ambiente, la calidad y el tamaño de los agregados son de suma importancia en los pavimentos de concreto asfáltico. Para obtener una mezcla adecuada, es necesario emplear una cantidad precisa de cemento asfáltico que pruebe el porcentaje de vacíos deseado. La granulometría de los agregados debe cumplir con las especificaciones que se indican en la (

Figura 2-2 Gráfico de granulometrías para agregados a usar en concretos asfálticos. (Figura 2-2), siguiendo curvas como las más finas ubicadas por encima o por debajo de la línea de máxima densidad. (AASHTO 93, 2006)

Figura 2-2 Gráfico de granulometrías para agregados a usar en concretos asfálticos.



Fuente: (AASHTO 93, 2006)

✓ Cementos Asfálticos

Se trata de una sustancia que varía en su consistencia, pudiendo presentarse en forma sólida, semisólida o líquida, y que se caracteriza por tener un tono marrón oscuro o negro. Su composición puede provenir de fuentes naturales como los betunes, o bien ser obtenida a través de la destilación del petróleo. La clasificación de los diferentes grados de cemento asfáltico se basa en la viscosidad del material, de manera que cuanto más fluido sea el cemento, menor será su viscosidad.

La viscosidad se mide a una temperatura de 60 grados Celsius. El grado de viscosidad se determina en el material directamente del proceso de destilación, mientras que el grado de viscosidad del residuo se determina a partir de la película fina resultante del ensayo de endurecimiento en estufa. (AASHTO 93, 2006)

Tabla 2-1*Clasificación de Asfaltos*

	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad a 60° C P	250+/-50	500+/-100	1000+/-200	2000+/-400	4000+/-800
Viscosidad a 135° C sCt	80	110	150	210	300
Penetración a 25°C (Pfeiffer y van Doormal) 100grx5seg, en 0.1 mm	200	120	70	40	20
Punto de inflamación °C	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno %	99	99	99	99	99
Ensayos sobre residuo de película en estufa					
Viscosidad a 69°C P	1.250	2.500	5.00	10.000	20.000
Ductilidad (25°C, 5cm/min) en cm	100	100	50	20	10

Nota: (AASHTO 93, 2006)

Dentro de la (**Tabla 2-1**) encontramos la clasificación de asfaltos que propone la AASHTO 93, Es importante elegir el grado de cemento asfáltico adecuado para cada área, teniendo en cuenta el clima. En lugares con temperaturas bajas, se recomienda usar cementos asfálticos con baja viscosidad para prevenir fisuras. Por otro lado, en zonas cálidas es mejor optar por cementos asfálticos con alta viscosidad para evitar deformaciones en la superficie. (AASHTO 93, 2006)

2.5.3 Bases

Si las bases o subbases no están estabilizadas, como es el caso de las bases granulares, sus características son diferentes de aquellas que han sido estabilizadas con asfalto o cemento, en las mezclas de los agregados de suelo los parámetros de diseño que se debe considerar para mezclas de agregados son: resistencia, módulo resiliente y requerimientos de permeabilidad. Dentro de la resistencia la estabilidad de una mezcla de

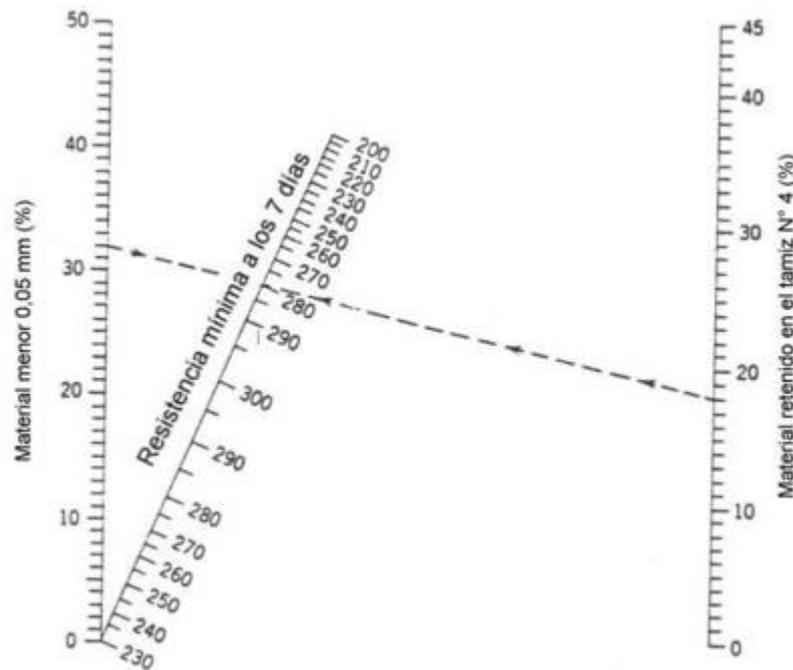
agregados depende de diversos factores, como la granulometría, densidad relativa, fricción interna y cohesión. Al diseñar una base granular o subbase, se busca lograr una máxima estabilidad y un alto ángulo de fricción interna. Para ello, la granulometría y el contacto entre partículas son fundamentales para proporcionar la resistencia al corte necesario. En cuanto a la resistencia de los materiales no ligados, esto se puede medir a través de distintas pruebas, tales como el CBR, ensayos triaxiales o ensayos R (Hveem), dentro del módulo resiliente depende de las tensiones aplicadas. (AASHTO 93, 2006)

✓ Bases tratadas con cemento

Este tipo de base puede utilizarse para proporcionar un buen soporte estructural y resistir o minimizar el bombeo, así como para minimizar los efectos de humedad y ciclos de congelación y deshielo, incluso debajo de pavimentos de hormigón. Sin embargo, en el caso de pavimentos de hormigón asfáltico, las fisuras por retracción que pueden desarrollarse en las bases tratadas con cemento pueden verse reflejadas en la superficie. Al diseñar una base tratada con cemento, se deben considerar tanto la resistencia a las cargas de tráfico como a los ciclos de congelación y descongelación. Para medir esta última, se mide la pérdida de peso después de 12 ciclos de congelación a -8°C y descongelación en un día. La resistencia mecánica se expresa como la resistencia mínima a la compresión simple a los 7 días y se determina según la granulometría, como se muestra en la (

Figura 2-2 Gráfico de granulometrías para agregados a usar en concretos asfálticos. (Figura 2-3). Es crucial seguir estos criterios para asegurar la calidad y estabilidad de la base tratada con cemento. (AASHTO 93, 2006)

Figura 2-3: Gráfico de granulometrías. Resistencia mínima requerida a la compresión a los 7 días para mezclas de suelo-cemento que contienen material retenido en TN°4.



Fuente: (AASHTO 93, 2006)

Dentro del módulo elástico depende del tipo de suelo, propiedades y contenido de cemento. El módulo elástico de esta mezcla es independiente de la tensión aplicada dado que estos materiales son linealmente elásticos en el rango de cargas usuales. Es importante tener en cuenta que el módulo elástico puede aumentar con el tiempo debido a las reacciones puzolánicas. Los valores típicos para suelo-cemento oscilan entre 345 y 13,800 MPa, mientras que para las bases tratadas con cemento están entre 6,700 y 20,700 MPa. (AASHTO 93, 2006)

✓ Bases tratadas con asfalto

Las bases permeables tratadas con asfalto tienen excelentes propiedades de drenaje. Los criterios de diseño son los mismos que para el concreto asfáltico. Cuando se usan bajo un pavimento de hormigón, se deben considerar los mismos factores que para una base tratada con cemento “El uso de una base tratada con asfalto puede incrementar la rigidez y

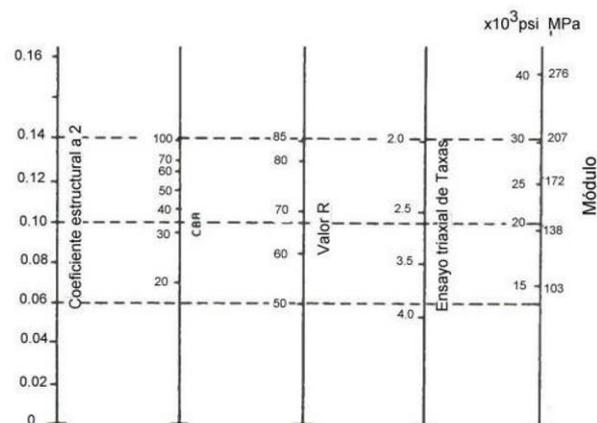
las tensiones de alabeo en la losa, lo que hace necesario el uso de juntas más próximas. Si hay erosión en la base tratada con asfalto, pueden aparecer escalones en las juntas. (AASHTO 93, 2006)

Se pueden usar asfaltos emulsionados para construir bases tratadas con asfalto. La capacidad de estas mezclas para recuperarse después de deformarse está entre la de una base granular y la de un concreto asfáltico, con valores típicos de módulo resiliente entre 550 y 3,450 MPa es decir 80,000 a 500,000 psi. (AASHTO 93, 2006)

2.5.4 Coeficiente estructural o de capa

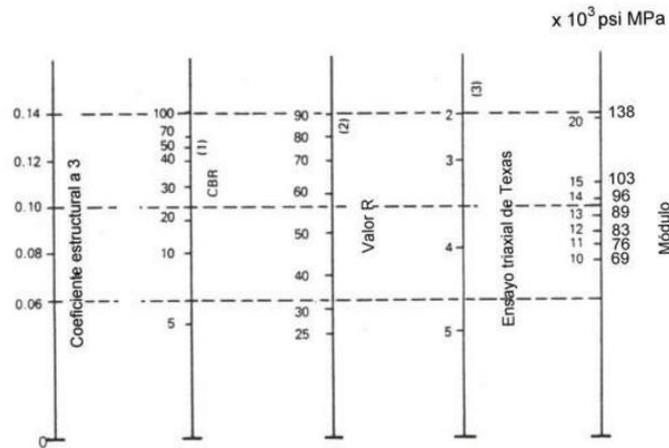
Los coeficientes mencionados están relacionados con los parámetros de resistencia de las bases granulares, subbases granulares y en las bases tratadas con asfalto y cemento. Con estos coeficientes, se puede diseñar un conjunto estructural para un pavimento flexible. En la **Figura 2-4** presentan gráficos para calcular los coeficientes estructurales de bases granulares, subbases granulares, bases tratadas con cemento y bases tratadas con asfalto, extraídos de la Guía AASHTO-93. (AASHTO 93, 2006)

Figura 2-4: Relación entre el coeficiente estructural para base granular y distintos parámetros resistentes.



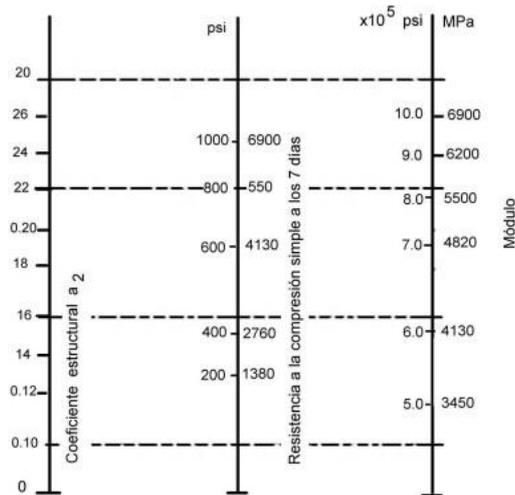
Fuente: (AASHTO 93, 2006)

Figura 2-5: Relación entre el coeficiente estructural para subbase granular y distintos parámetros resistentes.



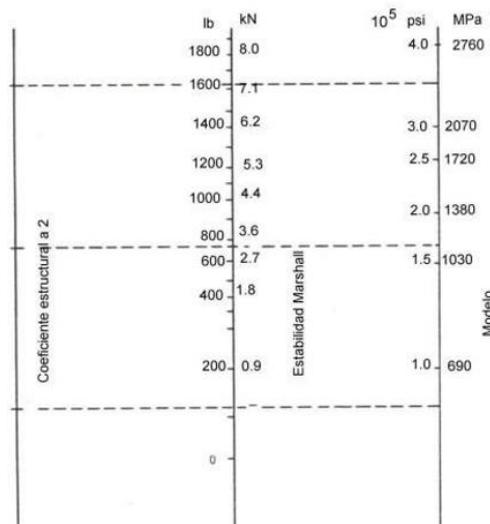
Fuente: (AASHTO 93, 2006)

Figura 2-6: Relación entre el coeficiente estructural para base tratada con cemento y distintos parámetros resistentes.



Fuente: (AASHTO 93, 2006)

Figura 2-7: Relación entre el coeficiente estructural para base tratada con asfalto y distintos parámetros



Fuente: (AASHTO 93, 2006)

2.5.5 Bases permeables

Estas bases tienen una alta capacidad de drenaje (más de 305 m/día o 0,35 cm/seg), lo que permite que el agua que penetre en el pavimento se drene rápidamente. Estas bases pueden estar tratadas o no tratadas, y si están tratadas, pueden ser tratadas con cemento o asfalto. Se agrega cemento en una cantidad de 80 a 170 kg/m³ y asfalto entre un 2.0 y 2.5% en peso. Para mantener la estabilidad de las bases tratadas, se debe utilizar suficiente ligante para mantener los materiales unidos. Se puede utilizar un material de filtro o un geotextil como subbase para evitar la contaminación de la base drenante con finos de la subbase. El espesor mínimo para bases granulares drenantes es de 4 pulgadas (10 cm) y debe permitir que el agua fluya hacia drenes colectores laterales. La base permeable debe extenderse al menos entre 0.30 y 1.00 m afuera del borde del pavimento para proporcionar una superficie estable para la pavimentadora, aunque normalmente se prefiere extenderla por debajo de toda la berma. (AASHTO, 2006).

3 TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL.

3.1 Objetivo del método AASHTO para la caracterización del tránsito

En el método AASHTO los pavimentos se proyectan para que resistan determinado número de cargas durante su vida útil. El tránsito está compuesto por vehículos de diferente peso y número de ejes, y a los efectos de cálculo, se los transforma en un número equivalente de ejes tipo de 80 KN o 18 kips. Se los denominará de aquí en adelante ESAL. (2006)

3.2 Aspectos conceptuales

En términos mecánicos, la carga que soportan los pavimentos está estrechamente vinculada con el peso y las dimensiones de los vehículos que circulan sobre ellos. Cuanto mayor sea la carga, mayor será el riesgo de daños en carreteras y puentes, lo que se traducirá en una disminución de la capacidad de carga estructural. Además, el aumento de la carga afecta significativamente el comportamiento dinámico del vehículo y puede afectar su estabilidad.

La creciente necesidad de transportar productos ha aumentado la demanda de vehículos pesados con mayor capacidad de carga. Es importante establecer y controlar su peso debido al efecto que tiene sobre el deterioro de los pavimentos y la seguridad en las carreteras. (MTOP, 2013)

3.3 Conversión de tránsito en ESALS

Para considerar la variación del daño producido por diferentes tipos de tráfico, se utiliza una medida llamada carga tipo, que se define como el número de ejes de una carga determinada que producirían el mismo daño que toda la composición del tráfico. La AASHO ha establecido una carga tipo de 80 KN o 18 kips, y se emplean factores equivalentes de carga, conocidos como LEF, que significan "Load Equivalent Factor" o "Factor Equivalente de Carga", para convertir entre distintos tipos de carga. Las cargas que actúan sobre un pavimento son capaces de producir tensiones y deformaciones variadas. Pavimentos de diferentes espesores y materiales responden de manera diferente a una misma carga. (AASHTO 93, 2006).

3.4 Mediciones de flujo

La recolección de datos sobre el flujo de vehículos es fundamental para llevar a cabo estudios relacionados con la gestión y la inversión en infraestructuras de transporte. Dependiendo del propósito para el cual se recopilen, los datos sobre el flujo vehicular deben ser expresados en diferentes unidades y con niveles de precisión variables. Por lo general, la información necesaria incluye:

- ❖ **Tráfico promedio diario anual (TPDA):** Es la medida más recurrente de flujo vehicular. Se utiliza para caracterizar el tráfico cuando no existe el fenómeno de la congestión, así como para efectos de diseño de pavimentos. Es el valor que se incorpora generalmente a los modelos de deterioro de pavimentos. Como su nombre lo indica, el tráfico promedio diario anual (TPDA) equivale al valor promedio de los flujos vehiculares diarios correspondientes a un año calendario. El método más adecuado para obtener información es realizar mediciones automáticas continuas durante al menos un año calendario en todos los tramos relevantes para el análisis del proyecto. (MTOP, 2013)

- ❖ **Tráfico en horas pico:** Se utilizan para un diseño Geométrico.
- ❖ **Tráfico medio por período:** Medida representativa de las condiciones de tráfico de acuerdo a la periodización definida en el modelo de simulación/asignación de tráfico adoptado. (MTOPI, 2013)

Es importante tener en cuenta que en los tres tipos de tráfico se busca obtener valores promedio del flujo vehicular que sean considerados representativos de un determinado período, lo cual influye en la elección de la muestra. Hay dos métodos para medir el flujo en una sección de la carretera: el manual y el automático.

3.5 Variaciones de tráfico

Los volúmenes de tráfico son dinámicos y solo son precisos durante el periodo en que se realizan los conteos. Sin embargo, dado que sus variaciones suelen ser cíclicas y repetitivas, es posible conocer sus características y planificar aforos para relacionar volúmenes en diferentes tiempos y lugares (Cal et al., 1994, citado en Pinos, 2018).

Para determinar el TPDA se necesitan factores de variación los cuales son: Factor horario, Factor diario, Factor semanal, Factor mensual y el Tráfico Observado el cual se debe procesar durante la semana de conteo.

- **Factor Horario (Fh):** Se obtiene el resultado dividiendo el total del tráfico del conteo automático del día calendario correspondiente al conteo manual entre el total del conteo automático que corresponde al conteo.
- **Factor Diario (Fd):** Es el promedio del tráfico diario semanal del conteo para el tráfico del día correspondiente al conteo.
- **Factor Semanal (Fs):** Es el promedio del tráfico semanal del mes conteo automático para el tráfico la semana.

- Factor Mensual (Fm): Se calcula con el promedio mensual del consumo de combustibles del año para el consumo del mes correspondiente al del conteo.

La multiplicación de estos factores se expresa con la sigla (Fe), también conocido como factor estacional o factor de ajuste. Este factor se utiliza para expandir el tráfico promedio diario anual (TPDA) por tipo de vehículo, obtenido de los conteos realizados en las estaciones de mayor cobertura (Navarro, 2021).

El TPDA se determina por la siguiente **Ecuación 1**:

$$TPDA=To*Fe$$

Ecuación 1

Donde:

Fe= Fh*Fd*Fs* Fm (Multiplicación de los factores)

To= Tráfico Observado

3.6 Contabilización Manual

La medición manual del flujo vehicular se lleva a cabo en la carretera mediante uno o varios dispositivos que registran el número total de vehículos que circulan por una sección de la vía o una interrupción. Este método es especialmente útil para medir el tráfico en períodos de tiempo cortos y permite clasificar los distintos tipos de vehículos y movimientos realizados.

La exactitud del método manual se ve afectado por la cantidad de tráfico, la destrucción de los movimientos y el tipo de vehículos que se miden. Un buen resultado depende en gran medida de la experiencia del equipo a cargo de la operación y supervisión, así como del entrenamiento del personal encargado de realizar las mediciones. Como regla general, un observador no debe contar más de 400 vehículos por hora para cualquier nivel

de proyecto. Si la intensidad de tráfico es mayor, se deben separar las medidas por movimiento, tipo de vehículo o carril. Si se utilizan para simulación o modelado, los conteos deben ser totales en intervalos de 15 minutos, diferenciando por dirección o movimiento y tipo de vehículo. Si se utilizan para calibrar la relación entre el flujo y la velocidad, se deben considerar intervalos más cortos, no superiores a cinco (5) minutos. (MTOP, 2013)

3.7 Contabilización Automática

La medición automática del flujo vehicular se lleva a cabo mediante dispositivos que registran impulsos generados por sensores al detectar el paso de vehículos. El tiempo que tarda este proceso varía según su objetivo: para alimentar bases de datos de carácter estratégico, se utilizan instalaciones permanentes; mientras que, para recolectar información para un proyecto específico, se habilitan instalaciones temporales.

Las versiones más simples de estos dispositivos registran el número total de ejes que pasan por un punto de la carretera, y también pueden registrar el total de ejes por sentido de circulación. La información recopilada por estos dispositivos puede acumularse por horas o períodos de tiempo más cortos.

Las versiones más avanzadas son los clasificadores, que garantizan información sobre los vehículos que pasan por una zona de interés durante períodos previamente programados. Estos vehículos se clasifican según su dirección, longitud, velocidad, número de ejes y distancia entre ejes. Estos últimos son particularmente útiles cuando se desea registrar el flujo de tráfico durante períodos prolongados.

Se recomienda que cualquier proyecto que haya pasado satisfactoriamente la fase pre-preliminar sea sometido a un plan de conteos automáticos en una serie de tramos definidos en dicha fase. Este plan de conteo debería durar al menos tres meses antes de iniciar el estudio de prefactibilidad. (MTOP, 2013)

3.8 Consideraciones Importantes

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas recomienda algunas consideraciones para estos conteos.

El analista debe elegir cuidadosamente las fechas y ubicaciones de medición para obtener datos representativos del comportamiento del flujo en el periodo que se quiere caracterizar. Por ejemplo, se deben evitar mediciones en condiciones extremas atípicas.

Los formularios deben ser diseñados para facilitar la lectura y escritura de la información. Toda la información que se recoja simultáneamente debe poder registrarse en una misma página, evitando cambiar de hoja según el movimiento o tipo de vehículo.

Antes de realizar las mediciones, se deben codificar los movimientos y sentidos de circulación posibles (incluyendo los prohibidos) en cada punto de control.

Los accesos deben identificarse a partir del azimut norte en el sentido de las manecillas del reloj, numerándolos en orden creciente.

La identificación de los movimientos debe usar dos dígitos: el primero indica el número de la rama de acceso y el segundo, el número de la rama de egreso. Si se realizan mediciones automáticas y el flujo es superior a 1000 vehículos por hora en promedio, el Ministerio de Transporte y Obras públicas recomienda hacer filmaciones en lugar de conteos manuales de apoyo.

En el formulario o en uno aparte, se debe incluir información sobre el estado del clima y la vía, como mínimo: clima (lluvia, nieve, neblina, despejado) y vía (transitable, intransitable, tráfico interrumpido por accidente).

Para simulación y evaluación el flujo vehicular por tipología y periodo se calculará como el promedio horario de las mediciones realizadas. (2013)

3.9 Procedimientos para el conteo manual

Para realizar el rediseño de pavimento de la calle Hernán Malo se necesita el tráfico y se debe realizar ya sea un conteo manual o automático, en este caso se decidió realizar el manual a través de videos registrados en las cámaras. Se colocaron dos cámaras, una el día miércoles, 29 de abril de 2023 aproximadamente a las 18:11 pm momento en el que empezó a grabarse el video, y la otra cámara se colocó el domingo 02 de abril de 2023 aproximadamente a las 17:30 pm, la contabilización de vehículos se realizó a partir del día jueves, 30 de abril de 2023 a las 00:00 hasta el miércoles, 12 de abril de 2023 a las 24:00, se colocaron dos cámaras porque la batería de una dura aproximadamente 150 horas. Las cámaras estaban ubicadas en la calle Hernán Malo, justo en la entrada del Parqueadero de la Universidad del Azuay. La información obtenida permite levantar información correspondiente al conteo volumétrico clasificado de una semana completa. En la **(Figura 3-1)** y **(Figura 3-2)** se puede observar la colocación de cámaras y el inicio del conteo.

Figura 3-1: Inicio de conteo Automático



Fuente: Autor

Figura 3-2: Evidencia de la instalación de cámaras para el conteo



Fuente: Autor

1.1.1. Plantilla para el conteo manual

Para el procesamiento de información se realizó una hoja de Excel en donde se debe colocar la fecha del conteo y las horas están cada 15 minutos, se debe clasificar por vehículos es decir livianos (**Figura 3-3**) el cual posee 2 ejes, buses los cuales tienen 2 y 3 ejes, camiones (**Figura 3-4**) de 2 ejes y el eje posterior es de llanta simple, camiones de 3 ejes y el eje posterior es de llanta doble y Tráiler (**Figura 3-5**) el cual consta con una parte tractora y un remolque, los buses se evidencian en la (

Figura 3-6).

Figura 3-3: Vehículo liviano

Fuente:(Restrepo. O, 2018)

Figura 3-4: Camión de dos ejes

Fuente: (Directindustry, s/f)

Figura 3-5: Buses con 2 ejes

Fuente: (Beltrán. J, 2023)

Figura 3-6: Tráiler

Fuente:(González. A, 2016)

3.9.1 Plantilla para el conteo manual

Se requieren datos estadísticos para calcular la proyección de tráfico los cuales son: Consumo de Combustible, población y matriculación Vehicular. Se utilizó la siguiente Tabla de combustible para calcular el Factor mensual.

El consumo de combustible se obtuvo a partir de la información oficial publicada en el documento de estadísticas Hidrocarburíferas de derivados del petróleo correspondientes al año 2019 de la provincia del Azuay, de la Secretaría Hidrocarburífera del Ecuador “SHE”. En la **(Tabla 3-1)** se encuentra el consumo de combustible del año 2019.

Tabla 3-1

Consumo de combustible 2019

MES	87 OCTANOS	92 OCTANOS	DIESEL PREMIUM	SUMA
ENE	3,595,521	523,303	3,039,608	7,158,432
FEB	3,310,130	499,157	2,759,360	6,568,647
MAR	3,615,689	518,490	3,021,425	7,155,604
ABR	3,612,763	534,418	3,036,811	7,183,992
MAY	3,859,579	540,918	3,074,424	7,474,921
JUN	3,537,365	484,071	2,792,507	6,813,943
JUL	3,817,274	538,214	3,104,678	7,460,166
AGO	3,672,130	541,847	3,130,445	7,344,422
SEP	3,613,139	509,682	2,977,708	7,100,529
OCT	3,891,105	536,036	3,108,493	7,535,634
NOV	3,762,629	515,967	3,082,896	7,361,492
DIC	4,008,434	538,809	2,900,846	7,448,089
TOTAL	44,295,758	6,280,912	36,029,201	86,605,871
CONSUMO PROMEDIO MENSUAL				7217155.92
F. MENSUAL				1.099

Nota: (Secretaría Hidrocarburífera del Ecuador, 2019)

A partir del procesamiento de información levantada en campo se obtuvo un total de vehículos clasificados durante los días de la semana, a continuación, se presenta un resumen de los datos obtenidos en la **(Tabla 3-2)**.

Se debe procesar los datos de toda la semana y sacar el total de livianos, buses, camiones de 2 y 3 ejes y tráiler, se cuenta con un total de 46171 vehículos.

Tabla 3-2*Total, de vehículos del conteo*

DÍAS DE LA SEMAN A	CAMIONES					TOTAL VEHÍCULOS
	LIVIAN OS	BUSE S	2 EJES	3 EJ ES	TR ÁIL ER	
30/03/23	7276	107	129	3	0	7515
31/03/23	7296	68	149	8	0	7521
01/04/23	4401	43	83	2	1	4530
02/04/23	2480	14	10	0	0	2504
03/04/23	7452	105	109	3	6	7675
04/04/23	7811	57	127	4	1	8000
05/04/23	8174	88	158	6	0	8426
SUBTOT AL	44890	482	765	26	8	46171
TOTAL	44890	482	791		8	46171
TOTAL%	97,23%	1,04%	1,71 %		0,02%	100,00 %

Nota: Autor

Para poder obtener el TPDA se debe considerar el factor de expansión, el cual se lo obtiene de la siguiente manera:

- Obtención de factor horario (Fh): Este factor será igual a 1 debido a que es un tráfico observado semanal.

$$Fh=1$$

- Obtención de factor diario (Fd): Este factor será igual a 1 debido a que es un tráfico observado semanal.

$$Fd=1$$

- Obtención de factor semanal (Fs): Este factor será igual a la división del número de días del mes de conteo para 28 días del mes de febrero.

$$F_s = \frac{30}{28} = 1.07$$

- Obtención de factor mensual (Fm): Este factor es el promedio del gasto de combustible anual dividido para doce para el gasto de combustible del mes de abril que corresponde al mes en el que se realizó el conteo.

$$F_m = \frac{(34.751.753)/12}{2.665.634} = 1.09$$

Tabla 3-3

Cálculo de Factores

FACTORES DE VARIACIÓN

<i>Fh</i>		<i>1</i>
<i>Fd</i>		<i>1</i>
<i>Fs</i>		<i>1,07</i>
<i>Fm</i>		<i>1,09</i>

Nota: Autor

En la (Tabla 3-3) se puede evidenciar los factores de variación calculados.

Al realizar la multiplicación de estos factores encontramos el Fe el cual nos da un valor de 1,164, el tráfico promedio semanal se divide el total de vehículos para 7 días y la multiplicación nos da el TPDA.

En la (**Tabla 3-4**) se evidencia el siguiente cálculo.

$$TPDA=Fe*TPS=7678\text{Vehículos}$$

Tabla 3-4

Cálculo del TPDA

<i>Fe</i>	<i>TPS</i>	<i>TPDA</i>	
<i>1,164</i>	<i>6596</i>	<i>7678</i>	<i>Vehículos</i>

Nota: Autor

En la (**Tabla 3-5**) se muestra el cálculo del TPDA del año 2023.

Tabla 3-5

Cálculo del TPDA 2023

CAMIONES					
<i>LIVIANOS</i>	<i>BUSES</i>	<i>2 EJES</i>	<i>3 EJES</i>	<i>TRÁI LER</i>	<i>TOTAL</i>
<i>7465</i>	<i>80</i>	<i>132</i>		<i>1</i>	<i>7678</i>

Nota: Autor

3.9.2 Proyección

Para realizar la proyección en 10 años se utilizará el TPDA calculado, y la tasa de crecimiento vehicular observada en la **(Tabla 3-6)**.

Tabla 3-6

Tasa de Crecimiento Vehicular

<i>Tasas de crecimiento vehicular</i>			
<i>PERIODO</i>	<i>LIVIANOS</i>	<i>BUSES</i>	<i>CAMIONES</i>
<i>2018-2020</i>	0,0598	0,0227	0,0445
<i>2020-2025</i>	0,0516	0,0196	0,0407
<i>2025-2030</i>	0,0451	0,0172	0,0367
<i>2030- 2035</i>	0,0399	0,0151	0,0333
<i>2035-2040</i>	0,0363	0,0136	0,0299
<i>2040-2045</i>	0,0342	0,0126	0,0267

Nota: (MTOPI,2013)

Realizamos la proyección en intervalos de 5 años (quinquenios), es decir, si el conteo se realizó el 2023 y se proyectara hasta el 2033, desde el 2023 hasta el 2025, luego del 2025 hasta el 2030 y del 2030 hasta el 2033. A esto se le conoce como tráfico futuro y se representa en **la (Ecuación 2)** es la siguiente:

$$Tf = To * (1 + i)^n$$

Ecuación 2

Donde:

Tf: Tráfico Futuro

To: Tráfico Observado

i=Tasa de crecimiento

n=Número de años

Se requiere el porcentaje de asignación vehicular para cada tipo de vehículo, es decir para livianos, buses, camiones y tráiler donde los livianos podemos encontrar en datos tabulados por el Instituto Nacional De Estadística y Censos (INEC) en el Anuario de Estadísticas y Transporte del año 2021 el cual es el último censo que se realizó, y se puede observar en la **(Tabla 3-7)**.

Tabla 3-7

Vehículos Motorizados matriculados según la clase, Año 2021. (Por provincia y número)

PROVINCIA	TOTAL	CLASE										
		Automóvil	Auto bús	Camión	Camión eta	Furgoneta	SUV	Motocicleta	Tanquero	Trail er	Volquet a	Otra Clase
Total	2.535.853	746.983	22.193	102.112	423.445	51.853	435.962	722.381	2.441	12.013	10.716	5.754
Azuay	163.598	51.742	1.537	6.637	32.941	3.064	41.796	24.068	76	674	739	324

Nota: Instituto Nacional De Estadística y Censos (INEC), 2021.

En livianos se debe clasificar en SUVs/camionetas y automóviles, en camionetas sumamos: camioneta, furgoneta, SUV. En automóviles sumamos: automóvil, camioneta, furgoneta, y SUV de la tabla de los vehículos motorizados matriculados según la clase del año 2021. En camiones de 2 y 3 ejes, en buses y tráiler, el porcentaje que nos salió en la tabla del total de vehículos del conteo debemos hacer para el 100%, obteniendo como resultados en la **(Tabla 3-8)**:

Tabla 3-8

	<i>TOTAL</i>		<i>%</i>	<i>SUMA</i>
<i>LIVIANOS</i>	CAMIONES/SUV	77.801	60,06%	<i>100,00%</i>
	AUTOMÓVILES	129.543	39,94%	

	<i>TOTAL</i>		<i>%</i>	<i>SUMA</i>
<i>CAMIONES</i>	2DB	765	96,60%	<i>100,00%</i>
	3A	26	3,40%	

	<i>TOTAL</i>		<i>%</i>	<i>SUMA</i>
<i>BUSES</i>	BP	482	100,00%	<i>100,00%</i>

	<i>TOTAL</i>		<i>%</i>	<i>SUMA</i>
<i>TRÁILERS</i>	4C	8	100,00%	<i>100,00%</i>

Nota: Autor

Para determinar la proyección de vehículos empezamos en el año 2023 donde tenemos el TPDA observado el cual se multiplicarán por los porcentajes encontrados, y se proyectará con la fórmula del tráfico futuro. En la (*Tabla 3-9*) se muestra el porcentaje utilizado en la asignación vehicular

Tabla 3-9

Porcentaje utilizado en la asignación vehicular

<i>LIVIANOS</i>	<i>AUTOMOVILES</i>	39,94%	0,40
	<i>CAMIONES/SUV</i>	60,06%	0,60
<i>CAMIONES</i>	<i>2DB</i>	96,60%	0,97
	<i>3A</i>	3,40%	0,03
<i>BUSES</i>	<i>BP</i>	100,00%	1,00
<i>TRÁILER</i>	<i>4C</i>	100,00%	1,00

Nota: Autor

En la (**Tabla 3-10**) se muestra la proyección para 10 años.

Tabla 3-10

Proyección para 10 años con autos

PERIODO DE DISEÑO

n=

10 años

	2023	2025	2030	2033	
Tipo de vehículo	TPDAo				%CON AUTOS
AUTOMÓVILES	2982	3298	4112	4624	38,99%
CAMIONETAS/ SUV	4483	4958	6182	6952	58,62%
BUS	80	83	90	94	0,79%
CAMIÓN 2E (2DB)	127	138	165	182	1,53%
CAMIÓN 3E (3A)	4	4	5	6	0,05%
TRÁILERS (4C)	1	1	1	1	0,01%

<i>TOTAL CON AUTOS</i>	<i>7677</i>	<i>8482</i>	<i>10555</i>	<i>11859</i>	<i>100,00%</i>
----------------------------	-------------	-------------	--------------	--------------	----------------

Nota: Autor

3.9.3 Cálculo de ESALS

Dentro de la determinación del Factor de conversión equivalente se debe tomar en consideración la distribución máxima de carga por eje, el peso máximo permitido acorde al conjunto de ejes los cuales son: eje simple con rueda simple, eje simple con rueda doble, eje tándem con 1 rueda simple y 1 rueda doble, eje tándem con 2 ejes de rueda doble, eje tridem con 1 rueda simple más 2 ejes de rueda doble, y un eje tridem con 3 ejes de rueda doble. En la (**Tabla 3-11**) se evidencia la distribución máxima de carga por eje (MTOPI)

Tabla 3-11

Distribución máxima de carga por eje.

TIPO	VALOR POR USO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO PERMITIDO (toneladas)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)		
					Largo	Ancho	Alto
2 D	20			7	5,50	2,80	3,00
2DA	20			10	7,50	2,80	3,50
2DB	36			18	12,20	2,80	4,10
3-A	52			27	12,20	2,80	4,10
4-C	60			31	12,20	2,80	4,10
4-D DIRECCIONAL	64			34	12,20	2,80	4,10
V2DB	36			18	12,20	2,80	4,10
V3A	52			27	12,20	2,80	4,10
T2	36			18	8,50	2,80	4,10
T3	52			27	8,50	2,80	4,10
R2	48			14	10,00	2,80	4,10
R3	64			21	10,00	2,80	4,10
S1	24			11	13,20	2,80	4,10
S2	40			20	13,20	2,80	4,10
S3	48			24	13,20	2,80	4,10
B1	24			7	10,00	2,80	4,10
B2	40			14	10,00	2,80	4,10
B3	48			21	10,00	2,80	4,10

Fuente: (MTO,2013)

3.9.4 Cálculo de ESALS de un pavimento flexible

Para el factor de conversión equivalente se va a clasificar una tabla para flexibles y otra para rígidos. En el diseño de ESALS con autos de un pavimento flexible encontramos en la (Tabla 3-12)

Tabla 3-12

Fórmulas del factor de conversión equivalente parcial (FCE parcial) para pavimento flexibles.

<i>Tipo de Eje</i>	<i>Eje Equivalente (EE8.2tn)</i>
<i>Eje Simple de ruedas simples (EEs1)</i>	$EEs1 = [P/6.6]^{4.0}$
<i>Eje Simple de ruedas dobles (EEs2)</i>	$EEs2 = [P/8.2]^{4.0}$
<i>Eje Tandem (1 eje ruedas dobles+1 eje rueda simple) (EETA1)</i>	$EETA1 = [P/14.8]^{4.0}$
<i>Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EETA2)</i>	$EETA2 = [P/15.1]^{4.0}$
<i>Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles+1 eje rueda simple) (EETR1)</i>	$EETR1 = [P/20.7]^{3.9}$
<i>Ejes Tridem (3 ejes ruedas dobles) (EETR2)</i>	$EETR2 = [P/21.8]^{3.9}$
<i>P= peso real por eje en toneladas</i>	

Fuente: Elaboración Propia, en base a correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO 93

Nota: (AASHTO 93,2006)

Dentro de la determinación del factor de conversión equivalente (FCE) con autos el FCE Parcial % es la multiplicación del FCE Parcial con los porcentajes de la proyección para 10 años con autos. En la (**Tabla 3-12**) tenemos el cálculo de un pavimento flexible.

Tabla 3-13

Cálculo del FCE parcial %flexible

<i>Tipo</i>	<i>Carga Total Peso</i>	<i>Cargas por eje</i>	<i>FCE Parcial</i>	<i>FCE Parcial*%</i>

<i>Automóvil</i>	3	1,5	0,0027	0,00105277
		1,5	0,0027	0,00105277
<i>CAMIONETA S/SUV</i>	5	1,5	0,0027	0,001582798
		3,5	0,0791	0,046370116
<i>BP</i>	13,1	3,9	0,1219	0,000966237
		9,2	1,5845	0,012559491
<i>2DB</i>	18	7	1,2654	0,019420086
		11	3,2383	0,04969817
<i>3A</i>	27	7	1,2654	0,000640223
		20	3,0776	0,001557096
<i>4C</i>	31	7	1,2654	0,000106704
		24	1,4549	0,000122683
				0,135129142

Nota: Autor

Se considera el número de calzadas tenemos que es 1 calzada con 2 sentidos de circulación y tiene 1 calzada por sentido trabajamos con un $Dt=0,5$. En la (*Tabla 3-14*) encontramos los factores de determinación de diseño.

Tabla 3-14

Determinación del factor de diseño

<i>Número de calzadas</i>	<i>Número de sentidos</i>	<i>Número de calzadas</i>	<i>Factor</i>	<i>Factor</i>	<i>Factor</i>	<i>Pond</i>
			<i>Dirrec cional</i>	<i>Carril</i>	<i>FdxFc para carril</i>	

		por sentido	(Fd)	(Fc)	<i>de diseño</i>
1 calzada (para MDA total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	<i>1.0 0</i>
	1 sentido	2	1.00	0.80	<i>0.8 0</i>
	1 sentido	3	1.00	0.60	<i>0.6 0</i>
	1 sentido	4	1.00	0.50	<i>0.5 0</i>
	2 sentidos	1	0.50	1.00	<i>0.5 0</i>
	2 sentidos	2	0.50	0.80	<i>0.4 0</i>
	2 calzadas con separador central (para MDA total de dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00
2 sentidos	2	0.50	0.80	<i>0.4 0</i>	
2 sentidos	3	0.50	0.60	<i>0.3 0</i>	
2 <i>sentidos</i>	4	<i>0.50</i>	<i>0.50</i>	<i>0.2 5</i>	

Nota: (AASHTO 93, 2006)

Los ESALS con autos para un pavimento flexible resulta de la multiplicación del total con autos del 2023 más el total con autos del 2033 dividido para 2 y todo esto multiplicamos por los 365 días del año por los 10 años de proyección por el Dt y el FCE parcial % dando como resultado (**Tabla 3-15**):

Tabla 3-15

Determinación de los ESALS en un pavimento flexible.

<i>Distribución de Tráfico</i>	
<i>Dt</i>	<i>0,5</i>
<i>ESALS</i>	
<i>N8.2</i>	<i>2408893</i>

Nota: Autor

3.9.5 Cálculo de ESALS de un pavimento rígido

Para el factor de conversión equivalente se va a clasificar en una tabla para rígidos.

En el diseño de ESALS con autos de un pavimento rígidos tenemos (**Tabla 3-16**):

Tabla 3-16

Formulación del factor de conversión equivalente Parcial (FCE Parcial) Para pavimentos rígidos.

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE8.2tn)
Eje Simple de ruedas simples (EEs1)	$EEs1 = [P/6.6]^{4.1}$
Eje Simple de ruedas dobles (EEs2)	$EEs2 = [P/8.2]^{4.1}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles+1eje rueda simple) (EETA1)	$EETA1 = [P/13.0]^{4.1}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) (EETA2)	$EETA2 = [P/13.3]^{4.1}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles+1eje rueda simple) (EETR1)	$EETR1 = [P/16.6]^{4.0}$
Ejes Tridem (3 ejes ruedas dobles) (EETR2)	$EETR2 = [P/17.5]^{4.0}$
P= peso real por eje en toneladas	
Fuente: Elaboración Propia, en base a correlaciones con los valores de las Tablas del apéndice D de la Guía AASHTO 93	

Nota: (AASHTO 93, 2006)

Se realiza el mismo procedimiento para pavimentos rígidos, dentro de la determinación del factor de conversión equivalente (FCE) con autos el FCE Parcial % es la multiplicación del FCE Parcial con los porcentajes de la proyección para 10 años con autos. En la (**Tabla 3-17**) cálculo del FCE parcial % Rígido.

Tabla 3-17

Cálculo del FCE parcial % Rígido

<i>Tipo</i>	<i>Carga Total Peso</i>	<i>Carga s por eje</i>	<i>FCE Parcial</i>	<i>FCE Parcial* %</i>
<i>Automóvil</i>	3	1,5	0,0023	0,0008968
		1,5	0,0023	0,0008968
<i>SUV/CAMIO NETAS</i>	5	1,5	0,0023	0,00134831
		3	0,0395	0,02315575
<i>BP</i>	13,1	3,9	0,1157	0,00091709
		9,2	1,6029	0,01270534
<i>2DB</i>	18	7	1,2728	0,01953365
		11	3,3348	0,05117916
<i>3A</i>	27	7	1,2728	0,00064397
		20	5,3264	0,00269486
<i>4C</i>	31	7	1,2728	0,00010733
		24	3,5375	0,0002983
				0,11437736

Nota: Autor

Se considera el número de calzadas tenemos que es 1 calzada con 2 sentidos de circulación y tiene 1 calzada por sentido trabajamos con un $Dt=0,5$. En la (**Tabla 3-18**) encontramos los factores de determinación de diseño.

Tabla 3-18

Determinación del factor de diseño

<i>Número de calzadas</i>	<i>Número de sentidos</i>	<i>Número de calzadas</i>	<i>Factor</i>	<i>Fac-</i>	<i>Fac-</i>	<i>Po</i>
			<i>Direc</i>	<i>tor</i>	<i>tor</i>	<i>nd</i>
			<i>cional</i>	<i>il</i>	<i>FdxFc</i>	<i>er</i>
		<i>Por</i>	<i>(Fd)</i>	<i>(Fc)</i>	<i>de</i>	<i>ad</i>
		<i>sentido</i>			<i>diseño</i>	<i>o</i>
		<i>do</i>			<i>o</i>	
<i>1 calzada (para MDA total de la calzada)</i>	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00	
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80	
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60	
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50	
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50	
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40	
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50	

<i>2 calzadas con separador central (para MDA total de dos calzada)</i>	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 <i>sentidos</i>	4	0.50	0.50	0.25

Nota: (AASHTO 93, 2006)

Los ESALS con autos para un pavimento rígido resulta de la multiplicación del total con autos del 2023 más el total con autos del 2033 dividido para 2 y todo esto multiplicamos por los 365 días del año por los 10 años de proyección por el Dt y el FCE parcial % dando como resultado (**Tabla 3-19**):

Tabla 3-19

Determinación de los ESALS en un pavimento rígido

<i>DISTRIBUCIÓN DE TRÁFICO</i>	
<i>Dt</i>	<i>0,5</i>
<i>ESALS</i>	
N8.2	2038959

Nota: Autor

4 ENSAYOS DE SUELOS

4.1 Métodos empleados en los ensayos de carreteras

Antes de los años 20, el diseño de pavimentos se basaba en la experiencia y criterio del diseñador. Aunque algunos diseños funcionaban bien, su efectividad variaba al ser aplicados en lugares con diferentes suelos, tráfico o climas, lo que aumentaba la probabilidad de que el pavimento resultara sobredimensionado. (AASHTO 93, 2006)

4.2 Métodos basados en la mecánica de suelos

La finalidad de estos métodos, que se fundamentan en principios geotécnicos, es resguardar la subrasante de tensiones excesivas mediante la colocación de una capa adecuada de materiales sobre ella. (AASHTO 93, 2006)

4.2.1 Método de índice de grupo

El Índice de Grupo es una propiedad de los suelos que se utiliza en este método. A medida que la calidad del suelo disminuye, el índice aumenta. Los sustratos con un alto índice requieren un pavimento más grueso. Sin embargo, este método no es muy sofisticado en cuanto a la selección de materiales o el diseño de espesores, y solo tiene en cuenta la cantidad de vehículos pesados que circulan diariamente. (AASHTO 93, 2006)

4.2.2 Métodos endafológicos

La formación de suelos se clasifica y se asume que aquellos con el mismo origen y clima similar tendrán propiedades de ingeniería similares. Esta filosofía de diseño es parecida al método del índice de grupo. (AASHTO 93, 2006).

4.3 Métodos basados en la resistencia

Se usan las propiedades de resistencia o de relaciones carga, deformación de la subrasante de los diferentes suelos para indicar la calidad de los materiales.

4.3.1 Método del Valor Soporte California (CBR)

Este enfoque se basa en las propiedades de carga y deformación de la subrasante, subbase y base, y las relaciona empíricamente con los espesores totales del pavimento, incluyendo la capa de rodadura, base y capas subyacentes. El CBR es la relación entre la carga que produce una deformación de 0.1 pulgadas (2.5 mm) en el material en cuestión y la carga que produce la misma deformación en una muestra estándar de material granular de alta calidad, que se considera como 100%. (AASHTO 93, 2006)

4.3.2 Método del Valor R de Hveem

Este método se fundamenta en el ensayo de estabilómetro de Hveem, el cual mide las presiones horizontales que surgen en un material granular como resultado de la aplicación de una carga vertical. La calidad del material es mayor cuanto mayor sea su resistencia a la presión vertical. El espesor de un paquete estructural se calcula en función del valor R de la subrasante, de tal forma que cuanto menor sea este valor, mayor será el espesor requerido. (AASHTO 93, 2006)

4.3.3 Métodos basados en ensayos de carga-deformación

Aquí tienes una posible versión: Este método de diseño asume que el comportamiento del pavimento depende de cómo la subrasante responde a la carga. Para medir esta respuesta, se utiliza el ensayo de placa de carga, donde se aplica una carga a la subrasante mediante placas rígidas de 300 a 750 mm de diámetro y se mide la deflexión de la placa. El espesor del pavimento se determina mediante una correlación entre la deflexión de la placa y el comportamiento del pavimento. (AASHTO 93, 2006)

4.3.4 Métodos basados en ensayos triaxiales

En este proceso se introduce una muestra del material en una cámara triaxial, a la cual se le aplica una presión de confinamiento para imitar las condiciones presentes en el

cuerpo del pavimento. Luego, se le carga verticalmente hasta que se rompe, y las tensiones de rotura resultan se utilizan para determinar los espesores de pavimento necesarios para proteger tanto la subrasante como la subbase. (AASHTO 93, 2006)

4.4 Métodos de diseño basados en ensayos de carreteras

Estos métodos están basados en experimentos con la utilización de diversos materiales.

4.4.1 Road Test de Beates

En la década de 1920, los ingenieros comenzaron a entender la importancia de considerar las cargas de tráfico y cómo se distribuyen en los ejes al diseñar pavimentos. La División de Carreteras de Illinois llevó a cabo un experimento llamado Bates Experimental Road Test entre 1922 y 1923 en una carretera de 4 kilómetros de longitud cerca de Springfield, Illinois. Durante el experimento, se dividieron diferentes secciones de la carretera y se utilizaron diversos materiales, como ladrillos, concreto asfáltico y hormigón. Este ensayo contiene la teoría de que el diseño de pavimentos debe tener en cuenta las cargas por eje. (AASHTO 93, 2006)

4.4.2 Road Test de Maryland

En 1950 se llevó a cabo un experimento en una carretera existente de pavimento rígido cerca de La Plata, Maryland, que tenía una longitud de 1,8 kilómetros. El objetivo del experimento era estudiar una sección transversal del pavimento de espesor variable (entre 9- 7-9 pulgadas o 22,9-17,8-22,9 cm) que contaba con juntas de contracción cada 12,2 metros y juntas de expansión cada 36,6 metros. Para armar la losa se sacó malla de acero y se colocaron pasadores de 19 mm de diámetro en las juntas transversales correspondientes. Este experimento tuvo como objetivo evaluar los efectos de cuatro cargas por eje distintas, utilizando dos clases de vehículos. Las cargas, que correspondían a las esperadas en la red

vial, fueron de 80 KN (simple), 100 KN (simple), 142 KN (tándem) y 200 KN (tándem).

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

- La aparición de fisuras y el hundimiento de la losa en las juntas aumentaba en función de las cargas en el siguiente orden: 80 KN (simple), 142 KN (tándem), 100 KN (simple), 200 KN (tándem).
- Cuando la subrasante era plástica, se notaba el bombeo de finos. Sin embargo, esto no sucedía cuando la subrasante era granular y contenía muy poco limo y arcilla.
- La correspondencia entre los ejes tándem y los ejes simples estaba determinada por la posición transversal de la carga.
- El alabeo térmico influye en las tensiones y deflexiones causadas por cargas en las esquinas y bordes.

4.4.3 Road Test de la WASHO

En 1953 y 1954, WASHO realizó un experimento en una carretera cerca de Malad, Idaho. Se construyeron dos tramos rectos de 580 metros de longitud, con 5 secciones de prueba de 92 metros de largo, separadas por segmentos de transición de 30 metros. Las cargas por eje empleadas fueron: 80 KN (simple), 100 KN (simple), 142 KN (tándem) y 178 KN (tándem). Los espesores de los pavimentos variaron entre 152 y 559 milímetros (6 a 22 pulgadas). Las conclusiones del experimento fueron las siguientes:

El daño en el pavimento aumentaba en el siguiente orden: 80 KN (simple), 142 KN (tándem), 100 KN (simple) y 178 KN (tándem).

Un pavimento con 10 centímetros de concreto asfáltico tiene un desempeño significativamente mejor que uno con el mismo espesor, pero solo con 5 centímetros de concreto asfáltico.

Un eje tándem con una carga 1.5 veces mayor que un eje simple es equivalente a ese eje simple en cuanto a fallas en el pavimento. En cuanto a deformaciones, la equivalencia entre ejes simples y tándem es de aproximadamente 1.8 veces. (AASHTO 93, 2006)

4.4.4 Road Test de la ASSHO

Este fue el último de los grandes experimentos en carreteras a escala natural realizados en los Estados Unidos, llevado a cabo entre 1958 y 1960 cerca de Ottawa, Illinois. Esta ubicación fue elegida debido a la uniformidad de las características del suelo, típicas de gran parte del territorio estadounidense, y al clima representativo del norte del país. Además, los trabajos de construcción se integrarían en la Ruta Interestatal 80.

Este experimento introdujo el concepto de serviciabilidad en la planificación de pavimentos. La serviciabilidad se refiere a la capacidad del pavimento para proporcionar una superficie lisa y cómoda al usuario, y se mide en una escala de 0 (Pavimento intransitable) a 5 (Pavimento Perfecto). (AASHTO 93, 2006)

4.5 Ensayo de compactación proctor modificado

La Norma AASHTO T180 describe y regula los procedimientos de compactación utilizados en el laboratorio para determinar la relación entre el contenido de humedad y el peso unitario seco de los suelos compactados en un molde de 101.6 ó 152.4 mmes decir (4” ó 6”) de diámetro con un martillo de 44.5kN (10lbf) de peso que se deja caer desde una altura de 457 mm. (18”) y produce un esfuerzo de compactación de 2700 kNm/ m³ (56000 lbpie/ pie³). (AASHTO T180, 2019)

Existen 4 alternativas:

Método A

- Molde: 101.6mm (4”) de diámetro

- Material: Pasa el tamiz 4.75mm (# 4)
- Número de capas: 5
- Número de golpes por capa: 25
- Uso: El 20% o menos por peso del material se retiene sobre el tamiz 4.75mm (# 4). (AASHTO T180, 2019)

Método B

- Molde: 101.6mm (4") de diámetro
- Material: Pasa el tamiz 9.5 mm (3/ 8").
- Número de capas: 5
- Número de golpes por capa: 25
- Uso: Más del 20% del peso del material queda retenido en el tamiz de 4.75 milímetros (#4), mientras que el 20% o menos del peso del material queda retenido en el tamiz de 9.5 milímetros (3/8 pulgadas). (AASHTO T180, 2019)

Método C

- Molde: 152.4mm (6") de diámetro.
- Material: pasa el tamiz de 19mm (3/ 4").
- Número de capas: 5
- Número de golpes por capa: 56
- Uso: Más del 20% del peso del material queda retenido en el tamiz de 9.5 milímetros (3/8 pulgadas), mientras que menos del 30% del peso del material queda retenido en el tamiz de 19 milímetros (3/4 pulgadas). (AASHTO T180, 2019)

Método D

- Molde: 152.4mm (6") de diámetro.
- Material: pasa el tamiz de 19mm (3/ 4").
- Número de capas: 5
- Número de golpes por capa: 56

Este método generalmente produce un peso unitario seco máximo bien definido para los suelos sin drenaje libre. Si se usa este método para suelos con drenaje libre, el peso unitario máximo puede no quedar bien definido y puede ser menor que el obtenido siguiendo el método dado en la norma D4253. (AASHTO T180, 2019)

Resumen del ensayo

Se coloca una muestra de suelo con un contenido de agua específico en un molde de dimensiones determinadas, en cinco capas. Cada capa se compacta con 25 o 56 golpes de un martillo de 44.5 N (10 libras) que se deja caer desde una altura de 457 milímetros (18 pulgadas), aplicando al suelo un esfuerzo de compactación total de aproximadamente 2700 kN-m/m³ (56000 libras-pie/pie³). Luego, se determina el peso unitario seco resultante. Este procedimiento se repite con diferentes contenidos de agua para establecer una relación entre el contenido de agua y el peso unitario seco del suelo. Cuando se representan estos datos en un gráfico, se obtiene una relación curva conocida como la curva de compactación. A partir de esta curva, se pueden determinar los valores del contenido óptimo de agua y el peso unitario seco máximo. (AASHTO T180, 2019)

Equipos utilizados en el Ensayo

La AASHTO T180 nos presenta diferentes equipos que se utilizan en el ensayo de Proctor Modificado.

Molde: Los moldes deben ser de forma cilíndrica y deben estar hechos de un metal rígido y con la capacidad y las dimensiones.

Martillo manual: El martillo estará equipado con una guía tubular que permita la caída libre del martillo y el eje, sin restricciones. La guía tubular tendrá al menos 4 orificios de ventilación en cada extremo (8 orificios en total), ubicados con centros a 19 ± 1.6 milímetros ($3/4 \pm 1/16$ pulgadas) de cada extremo y espaciados a 90 grados. El diámetro mínimo de los orificios de ventilación será de 9.5 milímetros ($3/8$ pulgadas). Se pueden incorporar orificios o ranuras adicionales en la guía tubular.

Martillo mecánico con base circular: El martillo debe operarse para cubrir completamente y de manera uniforme la superficie de la muestra. Debe haber un espacio de 2.5 ± 0.8 mm entre el martillo y la superficie interior del molde en su diámetro interior. El martillo mecánico debe cumplir con las especificaciones de calibración de la norma D2168 y tener un dispositivo para mantener fija la masa cuando no está en uso.

Tamices: Se necesitan tamices de 19mm, 9.5mm y 4.75mm, según los requisitos de la Norma E11.

Herramientas de mezclado: Para mezclar completamente la muestra de suelo con el agua añadida, se requieren diversas herramientas como bandeja de mezclado, cuchara, paleta, espátula, entre otras, o un mecanismo mecánico adecuado. (AASHTO T180, 2019)

4.6 Clasificación de los suelos

Las características y propiedades de los suelos nos permiten distinguirlos, conocer su aspecto físico y evaluar su comportamiento en términos de estabilidad, fricción interna, compactación y resistencia. (Inacap, 2014)

Un suelo está compuesto por partículas de diferentes tamaños, formas y composiciones, formadas por la meteorización de la roca basal de la corteza terrestre.

- Forma

La forma es una característica importante de los suelos granulares que influye en su consistencia y estabilidad. Pueden ser angulares, con bordes afilados y caras planas; subangulares, con vértices y aristas redondeadas por abrasión moderada; subredondeadas, con forma redondeada y abrasión moderada; o redondeadas, prácticamente esféricas debido a la abrasión intensa. (Inacap, 2014)

- Tamaño

Las partículas de suelo se dividen en gravas, que no retienen agua y no tienen cohesión; arenas, que se separan fácilmente del agua; limos, que retienen mejor el agua y exudan con facilidad al darles golpes; y arcillas, que son plásticas, cohesivas y retienen mucha agua, lo que las hace problemáticas en términos de consolidación y expulsión de agua bajo esfuerzos. (Inacap, 2014)

- Composición

De acuerdo con su composición mineralógica, existen diferentes tipos de partículas según su origen y composición. Los minerales arcillosos se dividen en tres grupos principales: las caolinitas, que tienen baja absorción de agua y son poco susceptibles a la retracción y expansión cuando se someten a cambios de humedad; las ilitas, que son más susceptibles a la retracción y expansión debido a su mayor capacidad de absorción de agua; y las montmorillonitas, que, debido a su alta absorción de agua, presentan altas características de expansión y retracción, además de la caliza y el cuarzo. (Inacap, 2014)

4.7 Límites de Atterberg

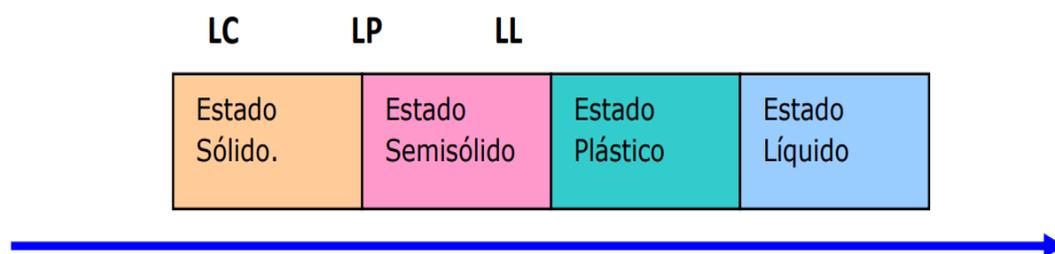
Los análisis mecánicos suelen presentarse mediante una curva de distribución granulométrica, cuya forma indica la granulometría del suelo. Un suelo bien graduado tiene proporciones similares de partículas de todos los tamaños y se distingue por una curva suave que abarca un amplio rango de partículas (Inacap, 2014)

Un suelo se considera uniforme cuando una gran proporción de sus partículas se encuentra en un rango estrecho de tamaños. Por otro lado, un suelo con graduación discontinua contiene partículas grandes y pequeñas, pero presenta una notable falta de partículas de tamaño intermedio.

La plasticidad que tiene una arcilla depende de dos factores los cuales son: su composición mineralógica y contenido de humedad. Su consistencia puede variar desde sólida cuando está seca, a semisólida con baja humedad, a plástica con alta humedad, e incluso líquida con niveles muy elevados de humedad. (Inacap, 2014)

En la **(Figura 4-1)** se muestra los límites de Atterberg que se recomienda para un estudio de suelo.

Figura 4-1: Contenido de humedad.



Fuente: (Inacap,2014)

- Límite de Contracción (LC)

El contenido de agua en el que el volumen de la masa de suelo permanece constante se define como el punto en el que el suelo pasa de un estado sólido a semisólido.

- Límite Plástico (LP)

El contenido de agua en el que el suelo, al ser moldeado en bastones de 3.2 milímetros de diámetro, se desmorona, se define como el punto en el que el suelo pasa de un estado semisólido a plástico.

- Límite Líquido (LL)

El contenido de humedad en el que una muestra de suelo cohesivo se cierra en aproximadamente 1 cm después de aplicar 25 golpes en la Cuchara de Casagrande se define como el límite líquido. Esto representa el cambio de un estado plástico a un estado líquido. Al determinar el límite líquido y el límite plástico, se puede obtener el índice de plasticidad, que representa el rango de humedad en el que el suelo está en estado plástico. (Inacap, 2014)

La *Ecuación 3* representa la obtención del índice de plasticidad la cual resulta de la diferencia entre el límite líquido y el índice de plasticidad.

$$IP = LL - LP$$

Ecuación 3

4.8 Sistemas de clasificación de los suelos

Se puede clasificar dependiendo de las características generales que tiene cada suelo, existen dos métodos y se basan en la granulometría y plasticidad.

Sistema AASHTO

Este sistema fue creado para determinar si un material es adecuado para construir carreteras y evaluar la calidad relativa de suelos de terraplenes, subrasantes, subbases y

bases. Los suelos inorgánicos se dividen en 7 grupos, del A-1 al A-7, siendo el A-1 el mejor para usar en la subrasante, compuesto de arena y grava bien graduadas con poca arcilla como agente cementante. Los suelos orgánicos se clasifican como A-8. (Inacap, 2014)

Los suelos que contienen finos se identifican también por su índice de grupo (IG): cuanto mayor sea el IG, menor será la calidad del suelo. Este sistema de clasificación se basa en dos criterios los cuales son: el tamaño del grano (porcentaje que pasa por las mallas N°10, N°40 y N°200) y la plasticidad (LL, IP) y los sobre tamaños (que no se consideran, pero se registran). (Inacap, 2014)

Sistema SUCS

Este sistema, desarrollado por Casagrande para su uso en la construcción de aeropuertos, es el método estándar para clasificar suelos en la construcción. Los suelos se dividen según su distribución granulométrica las cuales son: granulares si más del 50% es retenido por el tamiz N°200, o finos si el 50% o más pasa por dicho tamiz. (Inacap, 2014)

Este sistema de clasificación se basa en criterios como el porcentaje de grava y arena, el porcentaje de finos, los valores de LL e IP, y los coeficientes Cc y Cu.

En la *Ecuación 4* y *Ecuación 5*, representa el coeficiente de uniformidad (Cu) y el coeficiente de pendiente (Cc) son medidas de la pendiente del suelo.

$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	Ecuación 4
$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$	Ecuación 5

4.9 Aplicación de los métodos

SISTEMA AASHTO.

Este procedimiento clasifica los suelos en siete grupos basándose en su granulometría, límite líquido y límite plástico. (Inacap, 2014)

Este método determina un Índice de grupo como se evidencia en la **Ecuación 6**:

$$IG = (F - 35) (0,2 + 0,005(WL - 40)) + 0,01(F - 15) (IP - 10) \quad \text{Ecuación 6}$$

F=Porcentaje que pasa por el tamiz Número 200 y es (B/0,08)

WL=Límite Líquido. (LL)

IP=Índice de Plasticidad.

El resultado del grupo se informa en números enteros y si es negativo, se informa como cero. El índice de grupo siempre se debe informar entre paréntesis.

Este método define la grava como el material que pasa por el tamiz de 80 mm y es retenido en el tamiz de 2 mm, la arena como el material que pasa por el tamiz de 2 mm y es retenido en el tamiz de 0,08 mm, y el limo y la arcilla como el material que pasa por el tamiz de 0,08 mm. (Inacap, 2014).

Figura 4-2: Sistema de clasificación AASHTO

SISTEMA DE CLASIFICACION AASHTO											
Clasificación General	Suelos granulares ($\leq 35\%$ pasa 0,08 mm)						Suelos finos ($>35\%$ Bajo 0,08 mm)				
Grupo	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Sub-grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*				A-7-5** A-7-6**
2 mm	≤ 50										
0,5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
0,08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35				≥ 36			
WL				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y arenas Limosas o Arcillosas				Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
	** A-7-5 : $IP \leq (WL-30)$						A-7-6 : $IP > (WL-30)$				
	$IG = (F - 35)(0,2 + 0,005 (WL - 40)) + 0,01 (F - 15)(IP - 10)$ * Para A-2-6 y A-2-7 : $IG = 0,01 (F - 15)(IP - 10)$ Si el suelo es NP $\rightarrow IG = 0$; Si $IG < 0 \rightarrow IG = 0$										

Fuente: (Inacap, 2014)

En la (**Figura 4-2**) se muestra el sistema de clasificación AASHTO de los suelos granulares y los suelos finos con su respectiva descripción.

MÉTODO SUCS.

En este método el suelo se considera de acuerdo a su granulometría y estos pueden ser:

- Granulares.
- Cohesivos.

Los suelos granulares son aquellos en los que más del 50% de las partículas son retenidas en el tamiz N° 200, mientras que los suelos cohesivos son aquellos en los que el 50% o más de las partículas pasan por dicho tamiz. (Inacap, 2014)

Los suelos granulares se pueden clasificar en grava, representada por la letra mayúscula G, si más del 50% de la fracción granular es retenida en el tamiz N°4, y arena, representada por la letra mayúscula S, si el 50% o más de la fracción granular pasa por el tamiz N°4.

Las arenas y las gravas se pueden clasificar como:

W = Bien gradadas.

P= Mal gradadas.

M= Limosas.

C=Arcillosas.

Según el siguiente criterio.

Si menos del 5% del material pasa por el tamiz N°200, se usan los siguientes sufijos: W o P que se utilizan para la fracción granular, según el coeficiente de uniformidad y el coeficiente de curvatura.

Si más del 12% pasa por el tamiz N°200, se utilizan los siguientes sufijos: M o C y estos van a depender de los valores WL y de IP, según la carta de plasticidad.

Cuando el porcentaje de material que pasa por el tamiz N°200 está entre el rango del 5% y el 12%, se utiliza una clasificación intermedia con símbolos dobles, W o P y M o C, en función de la carta de plasticidad y de los coeficientes de uniformidad y curvatura.
(Inacap, 2014)

Los suelos cohesivos se clasifican según los sufijos:

M =Limo

C= Arcilla.

O=Suelo Orgánico.

L= Baja Plasticidad.

H = Alta Plasticidad

Esta clasificación va a depender del límite líquido y del Índice de Plasticidad.

Figura 4-3: Sistema de clasificación SUCS GRUESOS

SISTEMA DE CLASIFICACION DE SUELOS USCS						
GRUESOS < 50% que pasa 0,08 mm						
Tipo de suelo	Símbolo	% Ret. en 5mm	% que pasa* 0,08mm	C_u	C_c	Índice de Plasticidad * IP
Gravas	GW	≥50% de lo retenido en 0.08 mm	< 5	> 4	1 a 3	
	GP			Si no Cumple requisitos de GW es GP		
	GM		> 12			< 0,73 (WL-20) o < 4
	GC					> 0,73 (WL-20) y > 7
Arenas	SW	<50% de lo retenido en 0.08 mm	< 5	> 6	1 a 3	
	SP			Si no Cumple requisitos de SW es SP		
	SM		> 12			< 0,73 (WL-20) o < 4
	SC					> 0,73 (WL-20) y > 7
*Entre 5 y 12 % usar símbolo doble como GW-GC, GP-GM, SW-SM,SP-SC						
**Si IP ≈0,73(WL-20) o si IP entre 4 y 7 e IP>0,73(WL-20), usar símbolo doble: GM-GC,SM-SC						
En casos dudosos favorecer clasificación menos plástica Ej.: GW-GM en vez de GW-GC						

Fuente: (Inacap, 2014)

Figura 4-4: Sistema de clasificación SUCS FINOS.

FINOS \geq 50 % PASA 0.08 mm			
Tipo de suelo	Símbolo	Lím. Líquido WL	Índice de Plasticidad * IP
Limos Inorgánicos	ML	< 50	< 0,73 (WL-20) o < 4
	MH	> 50	< 0,73 (WL-20)
Arcillas Inorgánicas	CL	< 50	> 0,73 (WL-20) y > 7
	CH	> 50	>0,73 (WL-20)
Limos o Arcillas Orgánicas	OL	< 50	**WL seco al horno
	OH	> 50	\leq 75% del WL seco al aire
Altamente Orgánicos	P ₁	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente	
*Si IP \approx 0,73(WL-20) o si IP entre 4 y 7 e IP > 0,73(WL-20), usar símbolo doble: CL-ML, CH-OH.			
**Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente WL seco al Horno			
En casos dudosos favorecer clasificación más plástica Ej.: CH-MH en vez de CL-ML			
Si WL = 50; CL-CH ó ML-MH			

Fuente: (Inacap, 2014)

En la (**Figura 4-3**) y (**Figura 4-4**) se muestra el sistema de clasificación de suelos finos y suelos gruesos por el método de la SUCS.

4.10 Calicata

Una calicata es, en general, una excavación en el suelo de dimensiones variables, comúnmente de 1 x 1 x 1 = 1m³, cuya profundidad permite observar el perfil del suelo donde crecen las raíces de los cultivos y como se produce el mejoramiento de la misma. (Calderón Loor, Rodríguez García, Loor, & García, 2016).

Figura 4-5: Lugar de toma de la muestra.



Fuente: Autor

Figura 4-6: Muestra analizada en el laboratorio.



Fuente: Autor.

En la (*Figura 4-5*) y (*Figura 4-6*) se evidencia la toma de la muestra de la calicata que se mandó a laboratorio para realizar los estudios de suelo, los cuales son: granulometría, proctor modificado y CBR.

4.11 Resultados obtenidos en laboratorio

El ensayo realizado es certificado por “SUELOTEC S.A” para el proyecto rediseño de pavimento flexible y rígido de la calle Hernán Malo - cantón Cuenca - Prov. Azuay, con fecha del 27 de abril del 2023 y presenta los siguientes resultados:

En el ensayo de clasificación de los suelos, en la (**Figura 4-7**) la estratigrafía de la calicata nos muestra que el suelo contiene material granular tipo lastre en una mínima cantidad y arcillas plásticas de color negro.

Figura 4-7: Estratigrafía de la calicata.

ESTRATIGRAFIA DE LA CALICATA	
	0.00 - 0.20 mts MATERIAL GRANULAR TIPO LASTRE
	0.20 - 1.70 mts - ARCILLAS PLASTICAS COLOR NEGRO CON MINORITARIA PRESENCIA DE ARENAS, GRAVAS Y BOLEOS

Fuente: (SUELOTEC S.A, 2023)

En los límites de Atterberg tenemos como resultado que el límite líquido es del 65.93%, el límite plástico 30.14% y el índice de plasticidad al ser la resta de los dos nos da como resultado 35.78%. En los porcentajes de gravas, arenas y finos nos arroja como resultado que en gravas tenemos el 8.07%, en arenas tenemos el 13.05% y en finos tenemos un 78.88% dando como resultado un suelo plástico.

En la (**Figura 4-8**) nos muestra la clasificación según la SUCS Y LA AASHTO, en la SUCS un suelo CH es decir una arcilla inorgánica, y en el sistema AASHTO un suelo A-7-5 que representa a suelos Arcillosos.

Figura 4-8: Clasificación según la SUCS y la AASHTO.

CLASIFICACION	
SUCS	CH
AASHTO	A-7-5
IG	20

Fuente: (SUELOTEC S.A, 2023)

El método del proctor modificado el cual es un ensayo de compactación de suelo, fue realizado a través de la normativa AASHTO T-180 y se utilizó el método D. En la (**Figura 4-9**) nos muestra que la densidad máxima en kg/m³ es del 1.705 y la humedad óptima es del 19.92% y se representa en la (Fuente: (SUELOTEC S.A, 2023)

Figura 4-10).

Figura 4-9: Resultados del ensayo de compactación del suelo.

No. DE CAPAS 5	P. MARTILLO 10 LBS				ALT. CAIDA 18 PULG.
	1	2	3	4	
MOLDE No.					5
MOLDE +SUELO HUM. (GR)	9,348	10,058	10,223	9,758	
PESO MOLDE (GR)	5,910	5,910	5,910	5,910	
PESO SUELO HUMEDO (GR)	3,438	4,148	4,313	3,848	
VOLUMEN MOLDE (CM ³)	2,107	2,107	2,107	2,107	
DENSIDAD HUMEDA (KG/M ³)	1,632	1,969	2,047	1,826	

MOLDE No.	1	2	3	4	
P. CAPSULA+SUELO HUM	70.07	62.89	52.02	53.67	
P. CAPSULA+SUELO SECO	61.41	54.17	44.27	44.81	
PESO CAPSULA	7.36	7.47	7.55	7.33	
PORCENTAJE DE HUMEDAD	16.02%	18.67%	21.11%	23.64%	

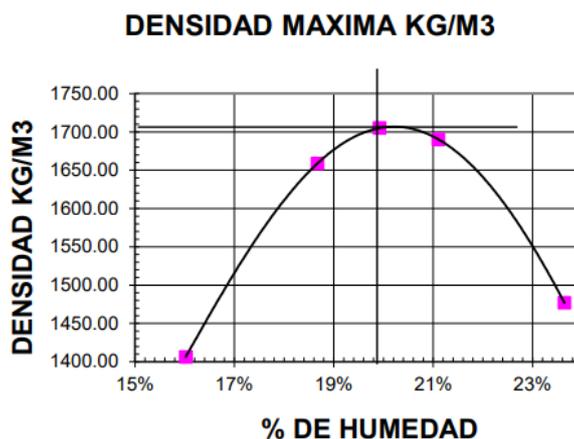
DENSIDAD SECA (KG/M ³)	1,406	1,659	1,690	1,477	
------------------------------------	-------	-------	-------	-------	--

DENSIDAD MAXIMA (KG/M ³)	1,705
--------------------------------------	-------

HUMEDAD OPTIMA	19.92%
----------------	--------

Fuente: (SUELOTEC S.A, 2023)

Figura 4-10: Resultados del ensayo de compactación del suelo.



Fuente: (SUELOTEC S.A, 2023)

En el ensayo de CBR se toma como referencia el resultado del ensayo de proctor modificado, en la (*Figura 4-11*) nos muestra que el ensayo se realizó con 5 capas y diferente número de golpes, y se analiza antes y después del remojo, recordando que al suelo se lo lleva a las peores condiciones, también nos muestra el % de agua que absorbió el suelo.

Figura 4-11: Ensayo CBR, contenido de agua.

NUMERO DE CAPAS		5					
	55		25		10		
	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES	
	REMOJO		REMOJO		REMOJO		
P. MUESTRA HUM. + MOLDE	13,627	13,673	13,240	13,326	13,238	13,378	
PESO MOLDE	9,315	9,315	9,063	9,063	9,308	9,308	
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2,077	2,077	2,130	2,130	2,115	2,115	

CONTENIDO DE AGUA

	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES
P. MUESTRA HUM. + TARRO	75.30	71.42	70.34	66.40	77.15	74.33
P. MUESTRA SECA + TARRO	63.01	59.60	59.21	55.04	64.71	61.04
PESO DEL TARRO	6.30	6.97	6.85	6.66	6.77	7.42
% DE HUMEDAD	21.67%	22.46%	21.26%	23.48%	21.47%	24.79%
% DE HUMEDAD AGUA ABSORVIDA	0.79%		2.22%		3.32%	

	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES
	REMOJO		REMOJO		REMOJO	
DENSIDAD HUMEDA	2.076	2.098	1.961	2.001	1.858	1.924
DENSIDAD SECA	1.706	1.713	1.617	1.621	1.530	1.542

Fuente: (SUELOTEC S.A, 2023)

El ensayo también nos muestra el esponjamiento del suelo en porcentaje el cual se analizó en diferentes días y en cada número de golpes como se muestra en la (*Figura 4-12*), también se puede evidenciar que en el ensayo de penetración el CBR a los 55 golpes es de 4.10%, a los 25 golpes es del 2.10% y a los 10 golpes es del 1.16%.

Figura 4-12: Esponjamiento y ensayo de penetración.

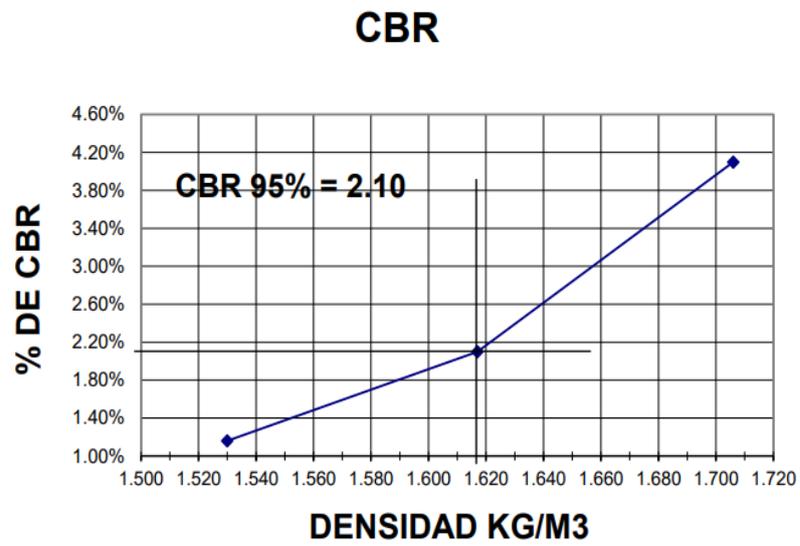
ALT. DEL MOLDE		4.5 PULG.			AREA DEL PISTON			3 PULG.*2		
FECHA	TIEMPO TRANS. DIAS	No. GOLPES/CAPA 55.00			No. GOLPES/CAPA 25.00			No. GOLPES/CAPA 10.00		
		L. DIAL PULG.	H. MUEST. PULG.	ESPONJ. %	L. DIAL PULG.	H. MUEST. PULG.	ESPONJ. %	L. DIAL PULG.	H. MUEST. PULG.	ESPONJ. %
	0.00	0.000	4.500	0.00%	0.000	4.500	0.00%	0.000	4.500	0.00%
	1.00	35.000	4.535	0.78%	50.000	4.550	1.11%	58.000	4.558	1.29%
	2.00	50.000	4.550	1.11%	75.000	4.575	1.67%	100.000	4.600	2.22%
	3.00	60.000	4.560	1.33%	110.000	4.610	2.44%	144.000	4.644	3.20%

ENSAYO DE PENETRACION														
CONSTANTE DEL ANILLO				AREA DEL PISTON				3 PULG.*2						
PENET. EN PULG.	No. GOLPES/CAPA 55.00				No. GOLPES/CAPA 25.00				No. GOLPES/CAPA 10.00					
	CARGA LBS	PRESION LBS/PUL2	P. STAND. LB/PULG2	VALOR CBR	CARGA LBS	PRESION LBS/PUL2	P. STAND. LB/PULG2	VALOR CBR	CARGA LBS	PRESION LBS/PUL2	P. STAND. LB/PULG2	VALOR CBR		
0	0	0			0	0			0	0				
25	27	9			16	5			8	3				
50	59	20			32	11			17	6				
75	91	30			47	16			26	9				
100	123	41	1,000	4.10%	63	21	1,000	2.10%	35	12	1,000	1.16%		
150	155	52			79	26			44	15				
200	187	62			94	31			53	18				
250	218	73			110	37			61	20				
300	250	83			125	42			70	23				

Fuente: (SUELOTEC S.A, 2023)

En la Figura 3-13 se evidencia que se grafica los porcentajes de cada CBR y la densidad seca después del remojo, dando como resultado un CBR al 95% de 2.10%.

Figura 4-13: Resultado del ensayo de CBR.



Fuente: (SUELOTEC S.A, 2023)

5 REDISEÑO DE LOS PAVIMENTOS

5.1 Periodo de diseño

La vida útil de un pavimento hace referencia al tiempo que transcurre entre la construcción o rehabilitación del pavimento y el momento en que este alcanza un grado mínimo de serviciabilidad. El período de análisis es el tiempo total que debe cubrir cada estrategia de diseño. Puede ser igual a la vida útil, pero en casos donde se anticipan reconstrucciones a lo largo del tiempo, el período de análisis incluye varios períodos de vida útil, tanto del pavimento original como de los diferentes refuerzos. (AASHTO 93, 2006)

Los períodos de análisis recomendados son:

Tabla 5-1

Periodos de diseño para pavimentos flexibles y rígidos.

Tipo de camino	Período de análisis
Gran volumen de tránsito urbano	30-50 años
Gran volumen de tránsito rural	20-50 años
Bajo volumen pavimentado	15-25 años

Nota: (AASHTO 93, 2006)

En la (**Tabla 5-1**) la AASHTO nos recomienda para diferentes tipos de caminos un rango de periodo de análisis en años para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles, cabe mencionar que la vida útil de un pavimento flexible es de 10 a 20 años, y la vida útil de un pavimento rígido es de 20 a 40 años.

5.2 Serviciabilidad

La escala del PSI va de 0 a 5, siendo 5 el índice de serviciabilidad más alto. Para el diseño, se deben seleccionar los índices de serviciabilidad inicial y terminal. El índice de serviciabilidad inicial (P_i) es una estimación del PSI hecha por el usuario justo después de la construcción.

Según las condiciones establecidas por la Carretera Experimental AASHO 93, los valores del índice de serviciabilidad inicial (P_i) fueron de 4.2 para pavimentos flexibles y de 4.5 para pavimentos rígidos. El índice de serviciabilidad terminal es el nivel mínimo aceptable de una carretera antes de que sea necesario realizar un recapado o una reconstrucción. (AASHTO 93, 1997)

Para el diseño de carreteras principales, se sugiere un índice de 2.5 o 3.0, y para carreteras con una clasificación menor, un índice de 2.0. En carreteras menores, donde se deben mantener bajos los gastos iniciales, se puede utilizar un índice terminal de 1.5. Los gastos también pueden minimizarse reduciendo el periodo de comportamiento, pero este valor bajo de P_t solo debe usarse en casos especiales de clases seleccionadas de carreteras. (AASHTO 93, 1997)

En la (**Tabla 5-2**) se muestra diferentes valores que están establecidos por la AASHTO 93, para sacar la serviciabilidad se considera el PSI inicial (P_o) y el PSI final (P_t) y el Δ PSI es la resta de la inicial menos el final como se muestra en la ecuación.

Serviciabilidad inicial:

$P_o = 4.5$ para pavimentos rígidos

$P_o = 4.2$ para pavimentos flexibles

Serviciabilidad final:

Pt = 2.5 o más para caminos de suma importancia importantes

Pt = 2.0 para caminos de menor tránsito

Es importante tener en cuenta que los valores de serviciabilidad establecidos requieren un buen acabado de construcción. Si se utilizan herramientas manuales o equipos gastados, es probable que el pavimento nuevo no alcance estos niveles y dure menos tiempo. (AASHTO 93, 2006)

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

Ecuación 7

En la **Ecuación 7** representa la serviciabilidad que resulta de la resta de la serviciabilidad inicial y final.

Tabla 5-2

Valores de Serviciabilidad establecidos por la AASHTO.

Para autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico	$2.5 < PSI_t < 3$
Para autopistas urbanas y troncales de tráfico normal, así como para autopistas interurbanas	$2.2 < PSI_t < 2.5$
Para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas	$1.8 < PSI_t < 2.0$

Nota:(AASHTO 93, 2006)

5.3 Confiabilidad

La elección del nivel adecuado de confiabilidad ($R-Z_r$) para el diseño de un pavimento depende del uso previsto del mismo. Un pavimento subdimensionado tendrá consecuencias más graves si se espera que soporte un gran volumen de tráfico que si soporta poco tráfico. En ambos casos, el pavimento alcanzará los niveles

mínimos de serviciabilidad antes de lo previsto y requerirá reparaciones, pero los costos de rehabilitación serán mayores para una autopista urbana que para un camino rural de bajo tráfico. (AASHTO, 2006)

Un alto nivel de confiabilidad en un pavimento implica un mayor costo inicial, pero también un mayor tiempo antes de que sea necesaria una reparación, lo que reduce los costos de mantenimiento. Por otro lado, un bajo nivel de confiabilidad resulta en pavimentos más económicos, pero con mayores costos de mantenimiento a largo plazo. (AASHTO 93, 2006)

En la **Tabla 5-3** se observa los niveles de confiabilidad que aconseja la AASHTO 93 para diferentes tipos de caminos y diferentes zonas y en la **Tabla 5-4** tenemos los coeficientes de cada valor de confiabilidad.

Tabla 5-3

Niveles de confiabilidad aconsejados por AASHTO

Tipo de camino	Confiabilidad recomendada	
	Zona urbana	Zona rural
Rutas interestatales y autopistas	85-99.99	80-99.99
Arterias principales	80-99	75-99
Colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Nota: (AASHTO 93, 2006)

Tabla 5-4

Valores de Zr de cada nivel de confianza.

R	Zr
65	-0,385
70	-0,524
75	-0,674
80	-0,842
85	-1,036
90	-1,282
95	-1,645
96	-1,751
97	-1,881
98	-2,055
99	-2,328

Nota: (AASHTO 93, 2006)

5.4 Drenaje

Un adecuado drenaje mejora la capacidad de carga de la subrasante, ya que el módulo resiliente aumenta a medida que disminuye el contenido de humedad. Esto mejora la calidad del camino y permite el uso de capas más delgadas. (AASHTO 93, 2006)

En la **Tabla 5-5** la AASHTO 93 recomienda los tiempos de drenaje en un 50% y 85% de saturación.

Tabla 5-5

Tiempos de drenaje recomendados por AASHTO

Calidad de drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Pobre	1 mes	Mas de 10 horas
Muy pobre	El agua no drena	Mucho mas de 10 horas

Fuente: (AASHTO 93, 2006)

La calidad del drenaje se refleja en la fórmula de dimensionamiento (Número estructural) mediante coeficientes de drenaje (m) que afectan a las capas no ligadas.

Tabla 5-6

Coefficientes de drenaje para pavimentos flexibles.

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Nota:(AASHTO 93, 2006)

En el diseño de pavimentos rígidos, se utilizan los coeficientes de drenaje (Cd) para ajustar la ecuación de diseño que tiene en cuenta la resistencia de la losa, las tensiones y las condiciones de soporte.

Tabla 5-7

Coefficientes de drenaje para pavimentos rígidos.

Calidad de drenaje	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Nota: (AASHTO 93, 2006)

En la **Tabla 5-6** se evidencia los coeficientes de drenaje para pavimentos flexibles y en la **Tabla 5-7** los coeficientes de drenaje para el pavimento rígido.

5.5 Módulo de Resiliencia

El Módulo de resiliencia recomendado por la AASHTO 93 se encuentra en la Figura 4-1.

Figura 5-1: Módulo de resiliencia recomendado por la AASHTO.

$$M_r = 1500 * (CBR) \quad [\text{lb/in}^2]$$

$$CBR < 10$$

$$M_r = 3000 * (CBR)^{0.65} \quad [\text{lb/in}^2]$$

$$10 < CBR < 20$$

$$M_r = 4326 * \ln(CBR) + 241 \quad [\text{lb/in}^2]$$

$$\text{Suelos Granulares}$$

Fuente: (AASHTO 93, 2006)

5.6 Diseño de pavimento flexible

El primer antecedente del método AASHTO para el diseño de pavimentos fue el AASHO Road Test, un ensayo realizado en Ottawa, Illinois entre 1958 y 1960, en el que se probaron pavimentos con diferentes características bajo diferentes cargas. De estos ensayos se obtuvo información para aplicar en la metodología de diseño de pavimentos, lo que llevó

a la publicación de la “AASHTO Interim Guide for the Design of Rigid and Flexible Pavements” (1962), que contenía procedimientos de diseño basados en modelos empíricos deducidos de los datos recolectados en el AASHTO Road Test. (AASHTO 93, 2006)

En 1972, se publicó la “AASHTO Interim Guide for the Design of Pavement Structures”. En 1986, después de realizar observaciones desde 1983, se publicó la “AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures”, que incluía muchas modificaciones en comparación con la versión de 1972. La guía incluía consideraciones como la confiabilidad, los módulos resilientes de materiales, los coeficientes de drenaje y el efecto de subrasantes expansivas o sometidas a congelación y deshielo. En 1993 se publicó una versión revisada sin cambios en el diseño de pavimentos flexibles. (AASHTO 93, 2006)

Para el método de diseño AASHTO 86 y 93 la fórmula de diseño es la **Ecuación 8**:

$$\log W_{18} = Z_R S_O + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log(\Delta PSI)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07 \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

SN = número estructural (pulg)

W18 = número de cargas de 18 kips (80 KN) previstas

ZR = abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad

R en la curva de distribución normalizada

SO = desvío estándar de todas las variables

ΔPSI = pérdida de serviciabilidad

MR = módulo resiliente de la subrasante se expresa en psi

5.7 Diseño de pavimento rígido

La primera guía AASHO para el diseño de pavimentos rígidos se publicó en 1962 y fue revisada en 1972 y 1981. Entre 1984 y 1985, el Subcomité en Diseño de Pavimentos y consultores revisaron la guía, lo que llevó a la publicación de la “AASHTO Guide for Design of Pavement Structures” (1986), con muchas variaciones respecto a las versiones anteriores. En 1993 se publicó una nueva versión de la guía, pero no se presentaron cambios en el diseño de pavimentos rígidos.

La guía incluía consideraciones como la confiabilidad R, el desvío estándar de las variables S_o , el coeficiente de drenaje C_d y la posibilidad de considerar suelos expansivos y efectos de hinchamiento por helada. Se agregó el factor LS para tener en cuenta la pérdida de soporte por erosión de la subbase o movimientos verticales diferenciales del suelo, lo que reduce el valor efectivo de k. (AASHTO 93, 2006)

La fórmula de diseño es la **Ecuación 9**:

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 7.35 \log(D+1) - 0.06 + \frac{\log \frac{\Delta PSI}{4.5-1.5}}{1 + \frac{1.625 \times 10^7}{(D+1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32p_i) \log \left[\frac{S_c' C_d (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \left[D^{0.75} - 18.42 \left(\frac{k}{E_c} \right)^{0.25} \right]} \right] \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

W_{18} = número de cargas de 18 kips (80 KN) previstas

Z_R = abscisa correspondiente a un área igual a la confiabilidad R en la curva de distribución normalizada

S_o = desvío estándar de todas las variables

D = espesor de la losa del pavimento en unidad de pulgada.

ΔPSI = pérdida de serviciabilidad que estará prevista en el diseño

p_t = serviciabilidad final

SC' = módulo de rotura del hormigón en unidad de psi

J = coeficiente de transferencia de cargas

C_d = coeficiente de drenaje

E_c = módulo de elasticidad del hormigón en unidad de psi

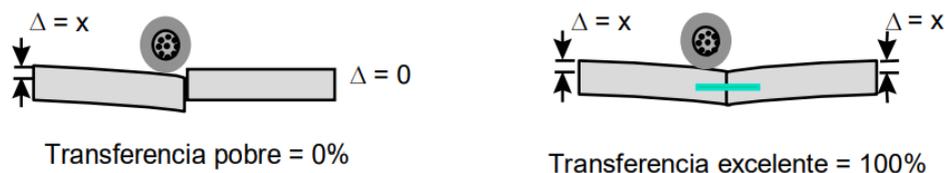
K = módulo de reacción de la subrasante (coeficiente de balasto) en unidad de psi/pulg

5.8 Transferencia de Cargas

La transferencia de cargas en las juntas transversales se refiere a la capacidad de una losa para transferir parte de su carga a la losa adyacente. Una junta con 100% de transferencia de carga podrá transferir la mitad de su carga a la losa que está a su lado, con el fin de reducir sus tensiones de borde. (AASHTO 93, 2006)

En la **Figura 5-2** se puede evidenciar una transferencia de carga pobre y una transferencia de carga adecuada.

Figura 5-2: Transferencia de carga longitudinal.



Fuente: (AASHTO 93, 2006)

El desempeño de un pavimento mejora con la adición de barras pasajuntas y sobreanchos, lo que se considera en el diseño a través del coeficiente de transferencia de carga (J). Este coeficiente tiene en cuenta el apoyo lateral en las esquinas de la losa, los dispositivos de transferencia de cargas, la interacción de agregados y la presencia de bermas de hormigón vinculadas. Coeficientes más altos corresponden a menor soporte. (AASHTO 93, 2006)

El diseño de pavimentos rígidos es muy sensible a la variable “J” y es importante considerar las características del clima, suelo y condiciones generales de apoyo para seleccionar un valor dentro de los rangos previstos. Los rangos inferiores de “J” solo son aplicables si se tienen suelos duros y condiciones climáticas apropiadas. Las columnas que indican “Berma de asfalto” se refieren a la falta de soporte lateral, como en el caso de bermas de tierra, losas sueltas y separadas de un cordón en calles, etc. Mientras que “Berma de Hormigón” se refiere a un sobreancho macizo de al menos 50 cm con acceso restringido, cunetas atadas, cordones vinculados a la losa o bermas de hormigón vinculadas propiamente dichas. (AASHTO 93, 2006)

Tabla 5-8

Coefficientes de transferencia de cargas.

Tipo de Pavimento	Berma de Asfalto		Berma de Ho. Vinculada	
	Disp. de Transferencia		Disp. de Transferencia	
	si	no	si	no
Junta Sencilla y Junta Reforzada	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
Continuamente Reforzada	2.9 - 3.2	N/D	2.3 - 2.9	N/D

Nota: (AASHTO 93, 2006)

5.9 Diseño de juntas

El diseño de juntas incluye la determinación del espaciamiento de las juntas longitudinales y transversales, la transferencia de cargas, la construcción de las juntas y los materiales de sellado. (AASHTO 93, 2006)

5.10 Tipos de juntas

Las juntas permiten que el pavimento se contraiga y expanda, liberando tensiones en la losa. Hay tres tipos básicos de juntas:

- **Juntas de contracción:** Las juntas de contracción se construyen para controlar las fisuras causadas por la liberación de tensiones debido a cambios en la temperatura, humedad y fricción.
- **Juntas de expansión:** Las juntas de expansión permiten que el pavimento se mueva sin dañar las estructuras adyacentes, como puentes y alcantarillas.
- **Juntas de construcción:** Las juntas se colocan al final del día de trabajo o cuando hay una interrupción en el hormigonado. Idealmente, deben coincidir con una junta de contracción. (AASHTO 93, 2006)

5.11 Espaciamiento entre juntas

La AASHTO recomienda que el espaciamiento entre juntas no supere dos veces el espesor de la losa en pies, o 24 veces el espesor en pulgadas. También recomienda que el espaciamiento no sea mayor que 1.25 veces el ancho de la losa. Se debe usar el menor de estos dos valores. (AASHTO 93, 2006)

5.12 Resultados del diseño de pavimento flexible

Se analiza el diseño de un pavimento en base a los Esals y su CBR, como se pudo evidenciar los resultados en el capítulo dos, los Esals en el diseño de pavimento flexible es de 2408893 vehículos, y el CBR es del 2.5% al 95%, resultados que se pueden evidenciar

en el capítulo 3. Como se muestra en la Tabla 28 se empieza con el periodo de diseño, el cual, será de 10 años, la serviciabilidad inicial en un pavimento flexible es de 4.2 y el final se tomó como consideración 2 puesto que se consideró para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas, y va un rango de 2 a 2.5, la confiabilidad se tomó en base a los niveles sugeridos para las diferentes carreteras, al ser una Arterias principal urbana sus rangos van de 80-99, para el diseño se tomó un valor de R de 85 y de Zr de -1.036.

En la AASHTO, para la desviación estándar en un proyecto de pavimento nos presenta dos opciones las cuales son construcción nueva y sobrecapas, para flexible nos muestra un rango de 0.40-0.50, en una construcción nueva recomienda un 0.45 y en sobrecapa 0.50, se consideró 0.50 puesto que la calle Hernán Malo ya tiene una construcción de pavimento flexible. El Módulo de resiliencia se analizó en base al CBR puesto que la AASHTO nos presenta tres opciones, si el CBR es menor a 10, o va entre 10 a 20 o son suelos granulares, en este caso nuestro CBR es menor a 10 y se realizó la multiplicación de $M_r = 1500 * (CBR)$, dando como resultado 3750 lb/in². Estos resultados se evidencian en la Tabla 4-9.

Tabla 5-9

Datos y resultados para el diseño de pavimento flexible.

Esals	2408893
CBR	2,5 %
1. Periodo de diseño	10 años

2. Serviciabilidad	4,2	PSIo
	2	PSIt
	2,2	Δ PSI

3. Confiabilidad	85	R
	-1,036	ZR

4. Desviación estandar	0,5	So
-------------------------------	-----	----

5. Módulo de resiliencia Mr	3750	lb/in ²
------------------------------------	------	--------------------

Nota. Autor.

Se obtuvo el número estructural (SN) en base la ecuación 11 y debe ser igual o mayor al logaritmo de los Esals el cual da como resultado 6.38, en la **Tabla 5-10** se evidencia que para la fórmula se utilizó un número estructural de 4.7 para que cumpla el diseño.

Tabla 5-10

Resultado del diseño.

A	6,35698865		
B	0,08894108		
C	0,53062516		
D	0,16761566		
E	0,22175254		

SN	4,7	
6,38	=	6,41
	OK	

Nota. Autor.

El 4.7 dio como resultado del número estructural parcial, el cual se tomó en consideración de cada capa, la Hernán Malo al ser una calle que ya cuenta con un pavimento, se analizó la muestra para los ensayos de suelo y se midió todas las capas mientras se tomaba la muestra, dando como resultado 3 pulgadas de carpeta asfáltica, 20 cm de base y 20 cm de subbase.

Tabla 5-11

Resultado del SN Parcial en base a cada capa.

Coefficiente de drenaje

Capa de rodadura 1 calidad de drenaje buena
 Capas granulares 0,8 calidad de drenaje mala

Capas	coeficiente		Espesor (cm)	SN Parcial
	Estructural (a)	Drenaje (m)		
Carpeta en caliente	0,173	1	7,62	1,3
Carpeta en caliente	0,173	1	5,08	0,9
Base granular CBR 80%	0,04	0,8	20	0,64
Suelo cemento	0,11	0,8	20	1,76
Mejoramiento	0,03	0,8	5	0,12
		TOTAL	57,7	4,7

OK

Nota. Autor

En base a estos datos se realizó el nuevo diseño, la AASHTO 93 nos presenta los coeficientes estructurales (a) de capa para el diseño de un pavimento flexible, se mantiene los 20 cm de base y subbase como se evidencia en los espesores, al realizar el nuevo diseño se considera un fresado de una pulgada, como se muestra en la **Tabla 5-11**, se utilizó un coeficiente de drenaje de 1 en capas de rodadura, y 0.8 en capas granulares. Se utilizó en el diseño suelo-cemento de base para alivianar el ancho de la carpeta asfáltica y se utilizó un mejoramiento de 5cm para el diseño.

5.13 Resultados del diseño de pavimento rígido

Se realizó un procedimiento similar al diseño de pavimento flexible, se considera los Esals el cual da como resultado para rígido de 2038959 vehículos, el CBR es del 2.5% y un periodo de diseño de 10 años. La serviciabilidad inicial en un pavimento rígido es de 4.5 y el final se tomó como consideración 2 puesto que se consideró para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas, y va un rango de 2 a 2.5.

La confiabilidad se tomó en base a los niveles sugeridos para las diferentes carreteras, al ser una Arterias principal urbana sus rangos van de 80-99, para el diseño se tomó un valor de R de 85 y de Zr de -1.036, para la desviación estándar se consideró 0.4 ya que es una sobrecapa y los rangos de un proyecto de pavimento para rígidos es de 0.30-0.40. Estos datos de evidencian en la **Tabla 5-12**.

Tabla 5-12

Datos y resultados para el diseño de pavimento rígido.

Esals	2038959
CBR	2,5 %
1. Periodo de diseño	10 años
2. Serviciabilidad	4,5 PSIo 2 PSIf 2,5 ΔPSI
3. Confiabilidad	85 R -1,036 ZR
4. Desviación estándar	0,4 So

Nota. Autor.

Para el diseño de un pavimento rígido se considera el coeficiente de reacción combinado el cual se evidencia en las siguientes ecuaciones:

$$K1=2.55+52.5*\log(\text{CBR}), \text{CBR} \leq 10\% \quad \text{Ecuación 10}$$

$$k0=46+9.08*[\log(\text{CBR})]^4.34 \quad \text{Ecuación 11}$$

$$kc=[1(h/38)^2 \times (k1/k0)^{(2/3)}]^{0.5} \times k0 \quad \text{Ecuación 12}$$

El $K1$ (**Ecuación 10**) hace referencia al coeficiente de reacción de la sub base granular, el Kc (**Ecuación 11**) al coeficiente de reacción combinado, el $k0$ (**Ecuación 12**) hace referencia al coeficiente de reacción de la subrasante y el h es el espesor de la subbase granular.

Los resultados se pueden evidenciar en la tabla 32 y se toma en consideración el coeficiente de reacción combinado en Mpa/m. El coeficiente de drenaje para la ciudad de Cuenca en un pavimento rígido va entre 0.9-1. El módulo de rotura del concreto se expresa en Mpa el cual el coeficiente de (a) varía entre 1.99 y 3.18 pero se recomienda que se utilice 2.2, la resistencia a la compresión del hormigón se consideró de $f'c = 280$.

El módulo de rotura del concreto resulta de: $a*\sqrt{f'c}$ el cual da como resultado 3.61 Mpa.

El módulo elástico del concreto se expresa con la siguiente ecuación: $4700*\sqrt{f'c}$ y se divide para 10.1972 para expresar en MPA

El coeficiente de transmisión de carga se expresa con la letra J , el cual la AASHTO nos da diferentes valores de coeficiente de transmisión de carga J , en pavimentos rígidos se coloca pasadores para estabilizar la vía y se recomienda en este diseño puesto que la calle Hernán Malo tiene una gran cantidad de Esals. Para concreto hidráulico si se utiliza pasadores el valor de J es de 2.8 y si no se usa pasadores el valor de J es de 3.8. Estos datos de evidencian en la **Tabla 5-13**.

Tabla 5-13

Datos y resultados para el diseño de pavimento rígido.

5. Coeficiente de reacción combinado	19,42	k1	kg/cm ³
	2,34	k0	kg/cm ³
	20	h	cm
	3,42	Kc	kg/cm ³
	34,246	kc	Mpa/m
6. Coeficiente drenaje cuenca entre 0.9-1	1	Cd	
7. Módulo de rotura del concreto	2,2	a	
	280	fc	
	36,81	Mr	kg/cm ²
	3,61	Mr	Mpa
8. Módulo elástico del concreto	24628,4117	E	Mpa
9. Coeficiente de transmisión de carga	2,8	J	

Nota. Autor.

En la tabla **Tabla 5-14** se muestra el cálculo del número estructural en base al diámetro de la losa y a la ecuación 12. Las letras de la A hasta la G representan el cálculo de todos los factores en la fórmula del número estructural (SN). En la **Figura 5-3** se evidencia la estructura recomendada para el nuevo diseño en pavimento rígido.

Tabla 5-14

Datos y resultados para el diseño de pavimento rígido.

A	6,48981125
B	0,07918125
C	1,15521008

D	3,58
E	13,1930352
F	14,2117779
G	0,03230369

D	200	mm
6,31	=	6,31
	OK	

Nota. Autor.

Figura 5-3: Demostración del diseño del pavimento rígido

Estructura	Losa	0,2	cm
	Base	0,2	cm
	Subbase	0,2	cm

Fuente Autor.

En el diseño de juntas en base a la AASHTO 93 se realizaron juntas transversales y juntas longitudinales. En base al espesor de la losa se recomienda los diámetros del pasador, longitudes del pasador, y separación entre barras, para la calle Hernán malo se recomienda el siguiente diseño de juntas que se muestra en la *Tabla 5-15* y *Tabla 5-16*

Tabla 5-15*Cálculo de juntas transversales.*

TRANSVERSALES		
Diámetro del pasador	3/4	mm
Longitud pasador	35	cm
Espaciamiento	30	cm
Ancho del carril	7	m
# de juntas	23,33333333	u
lmax	5	
lmax	4,5	
lmax	8,4	

Nota. Autor

Tabla 5-16*Cálculo de juntas longitudinales*

JUTNAS LONGITUDINALES		
fi 1/2		
Espesor de losa	0,2	m
Diámetro juntas	1/2	
Longitud juntas	60	cm
S	90	

Nota. Autor

CONCLUSIONES

- Es necesario analizar las diferentes alternativas que ofrecen las normativas para una construcción vial, en esta revisión bibliográfica se analizó normativas nacionales e internacionales las cuales son AASHTO 93 y MTOP y se puede concluir que los pavimentos presentes en estas normativas, tanto rígido como flexible son aptos en diferentes situaciones, pero el más adecuado para la calle Hernán Malo es el pavimento flexible.
- Gracias a la instalación de cámaras se pudo realizar el conteo 24 horas los 7 días de la semana y procesando la información nos da como resultado ESALS altos, los ESALS para un pavimento flexible es de 2408893 vehículos, y para rígidos es de 2038959 vehículos. Se pudo evidenciar grandes volúmenes de tráfico en horas pico.
- La calicata realizada en la calle Hernán Malo dio como resultado un CBR del 2.5% al 95% el cual fue necesario para realizar el nuevo diseño en un pavimento flexible y rígido, al ser un parámetro importante se necesita de la certificación de un laboratorio para manejar esta información.
- Los resultados obtenidos en este estudio de los nuevos diseños son a criterio del autor y conjuntamente de la normativa AASHTO 93, se realizó la propuesta de los dos tipos de pavimentos que se pueden utilizar en la calle Hernán Malo, para tomar esta decisión se analizó todas las ventajas y desventajas que tienen los pavimentos y se consideró el pavimento flexible como una mejor opción al tener un costo inicial bajo, la puesta en servicio es de manera inmediata, al estar ubicado en una zona escolar tiene un mayor flujo vehicular y soporta grandes volúmenes de tráfico y una ventaja principal es su facilidades de construcción y mantenimiento de la estructura.

RECOMENDACIÓN

Se recomienda que se realice un mantenimiento regular es decir realizar inspecciones regulares y reparar cualquier daño o desgaste en el pavimento de manera oportuna, puede ayudar a prolongar su vida útil. Al estar ubicado la calle en una zona escolar se recomienda brindar un servicio de buena calidad a la población que transita por ahí, tanto para vehículos como para peatones.

Se recomienda que se controle la carga es decir evitar sobrecargar el pavimento con vehículos pesados o exceso de tráfico puede ayudar a prevenir daños y desgaste prematuro. Asegurarse de que el pavimento tenga un drenaje adecuado para evitar la acumulación de agua y la formación de charcos, lo que puede debilitar el pavimento y provocar daños.

Se recomienda Mantener el pavimento limpio de escombros, hojas y otros materiales puede ayudar a prevenir daños y desgaste y aplicar una protección contra el clima en áreas con climas extremos, tomar medidas para proteger el pavimento del calor excesivo, la lluvia intensa o la nieve y el hielo puede ayudar a prolongar su vida útil.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO T180 Proctor Modificado. (2019). Scribd. Recuperado el 4 de junio de 2023, de <https://es.scribd.com/document/420586819/61445252-AASHTO-T180-Proctor-Modificado> (AASHTO T180, 2019).
- Barreno, A. M. (17 de diciembre de 2021). Diseño de Pavimentos aplicando la Metodología AASHTO 93 mediante la Programación de un Software Interactivo. Obtenido de <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/11449/1/203252.pdf>
- Gordillo Pinos Darwin Javier, M. F. (2018). DETERMINACION DE LOS FACTORES DE MAYORACIÓN DEL TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA) PARTIENDO DE DATOS HISTORICOS DE ZONAS REPRESENTATIVAS DE LA CIUDAD DE CUENCA. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30317/1/Trabajo%20de%20Titulaci%c3%b3n.pdf>
- Inacap,(2014). Inacap.cl. Recuperado el 4 de junio de 2023, de http://www.inacap.cl/web/material-apoyocedem/profesor/Construccion/Laboratorio-de-Hormigones-y-Suelos-I/G02_Propiedades_Indices.pdf
- Javier, G. P. (2018). DETERMINACION DE LOS FACTORES DE MAYORACION DE TRAFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (TPDA) PARTIENDO DE DATOS HISTORICOS DE ZONAS REPRESENTATIVAS DE LA CIUDAD DE CUENCA. Obtenido de <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/28520/1/tesis.pdf>
- Montejo, A. (2002). Ingeniería de Pavimentos. Obtenido de file:///C:/Users/asus/Downloads/Ingenieria_de_pavimentos_Alfonso_Montejo.pdf

NARVÁEZ, C. L. (2022). “METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE VÍAS RURALES, CONSIDERANDO LA REGULARIDAD SUPERFICIAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES: ESTUDIO CASO VÍA SANTA ROSA – BELLAVISTA– LA AVANZADA DEL CANTÓN SANTA ROSA, PROVINCIA DE EL ORO.”. Obtenido de

<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/19273/1/TESIS%20TENE%20NARVAEZ%20CRISTOBAL%20LEONARDO%20013.pdf>

Navarro, S. J. (2021). Obtenido de CÁLCULO DE TASA DE CRECIMIENTO DE TRÁNSITO PARA PROYECCIONES DE TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL EN

NICARAGUA:https://www.google.com/search?q=factor+de+expansion+que+es+en+trafico&ei=8lhTZILoL6yhkvQPmJWxyAU&ved=0ahUKEwiCqfq_jNv-AhWskIQIHZhKDFkQ4dUDCA8&uact=5&oq=factor+de+expansion+que+es+en+trafico&gs_lcp=Cgxnd3Mtd2l6LXNlcnAQAzIFCCEQoAEyBQghEKABMgUIIRCgATIFCCEQoA

Officials, A. a. (junio de 2006). DISEÑO DE PAVIMENTOS (AASHTO 93) . Obtenido de [file:///C:/Users/asus/Downloads/DISENO_DE_PAVIMENTO_METODO_AASHTO_93_ESP%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/asus/Downloads/DISENO_DE_PAVIMENTO_METODO_AASHTO_93_ESP%20(1).pdf)

Ortiz, C. A. (junio de 2021). “CORRELACIÓN ENTRE EL CBR, DCP, LAS PROPIEDADES ÍNDICEY MECÁNICAS EN LOS SUELOS GRANULARES DE LA PARROQUIA SAN JOSÉ DE POALÓ DEL CANTÓN PÍLLARO, PROVINCIA DE TUNGURAHUA”. Obtenido de

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/33052/1/Tesis%20I.%20C.%201483%20-%20Borja%20Ort%C3%ADz%20Carlos%20Alberto.pdf>

PUBLICAS, M. D. (2013). NORMA PARA ESTUDIOS Y DISEÑOS VIALES. Obtenido de NORMATIVA ECUATORIANA VIAL NEVI-12-MTOP: https://www.obraspublicas.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/12/01-12-2013_Manual_NEVI-12_VOLUMEN_2A.pdf

Ramos, R. T. (2007). Vías, carreteras y otras calzadas. Obtenido de Breve historia de las mismas: https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/ctpmmedia/publicaciones/documentos/Cimbra376_04.pdf

ANEXOS

Anexo 1 Plantilla conteo Automático

INTERSECCION:		AV. 24 DE Mayo																
FECHA:																		
CALLE:		HERNAN MALO					BAJAN DE LA AUTOPISTA A LA HERNAN MALO					SUMO LIVIANOS BUSES CAMIONES Y TRILER						
REFERENCIA		SUBEN DE LA AV 24 DE MAYO A LA HERNAN MALO					BAJAN DE LA AUTOPISTA A LA HERNAN MALO					TOTAL						
HORA		(SUBEN)					(BAJAN)					TOTAL						
		LIVIANOS	BUSES	CAMIONES 2 eje	CAMIONES 3 eje	TRAILER	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES 2 eje	CAMIONES 3 eje	TRAILER	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES 2 eje	CAMIONES 3 eje	TRAILER	TOTAL	
00:00	00:15											0	0	0	0	0	0	0
00:15	00:30											0	0	0	0	0	0	0
00:30	00:45											0	0	0	0	0	0	0
00:45	1:00											0	0	0	0	0	0	0
1:00	1:15											0	0	0	0	0	0	0
1:15	1:30											0	0	0	0	0	0	0
1:30	1:45											0	0	0	0	0	0	0
1:45	2:00											0	0	0	0	0	0	0
2:00	2:15											0	0	0	0	0	0	0
2:15	2:30											0	0	0	0	0	0	0
2:30	2:45											0	0	0	0	0	0	0
2:45	3:00											0	0	0	0	0	0	0
3:00	3:15											0	0	0	0	0	0	0
3:15	3:30											0	0	0	0	0	0	0
3:30	3:45											0	0	0	0	0	0	0
3:45	4:00											0	0	0	0	0	0	0
4:00	4:15											0	0	0	0	0	0	0
4:15	4:30											0	0	0	0	0	0	0
4:30	4:45											0	0	0	0	0	0	0
4:45	5:00											0	0	0	0	0	0	0
5:00	5:15											0	0	0	0	0	0	0
5:15	5:30											0	0	0	0	0	0	0
5:30	5:45											0	0	0	0	0	0	0
5:45	6:00											0	0	0	0	0	0	0
6:00	6:15											0	0	0	0	0	0	0
6:15	6:30											0	0	0	0	0	0	0
6:30	6:45											0	0	0	0	0	0	0
6:45	7:00											0	0	0	0	0	0	0
7:00	7:15											0	0	0	0	0	0	0
7:15	7:30											0	0	0	0	0	0	0
7:30	7:45											0	0	0	0	0	0	0
7:45	8:00											0	0	0	0	0	0	0
8:00	8:15											0	0	0	0	0	0	0
8:15	8:30											0	0	0	0	0	0	0
8:30	8:45											0	0	0	0	0	0	0
8:45	9:00											0	0	0	0	0	0	0
9:00	9:15											0	0	0	0	0	0	0
9:15	9:30											0	0	0	0	0	0	0
9:30	9:45											0	0	0	0	0	0	0
9:45	10:00											0	0	0	0	0	0	0
10:00	10:15											0	0	0	0	0	0	0
10:15	10:30											0	0	0	0	0	0	0
10:30	10:45											0	0	0	0	0	0	0
10:45	11:00											0	0	0	0	0	0	0
11:00	11:15											0	0	0	0	0	0	0
11:15	11:30											0	0	0	0	0	0	0
11:30	11:45											0	0	0	0	0	0	0
11:45	12:00											0	0	0	0	0	0	0
12:00	12:15											0	0	0	0	0	0	0
12:15	12:30											0	0	0	0	0	0	0
12:30	12:45											0	0	0	0	0	0	0
12:45	13:00											0	0	0	0	0	0	0
13:00	13:15											0	0	0	0	0	0	0
13:15	13:30											0	0	0	0	0	0	0
13:30	13:45											0	0	0	0	0	0	0
13:45	14:00											0	0	0	0	0	0	0
14:00	14:15											0	0	0	0	0	0	0
14:15	14:30											0	0	0	0	0	0	0
14:30	14:45											0	0	0	0	0	0	0
14:45	15:00											0	0	0	0	0	0	0
15:00	15:15											0	0	0	0	0	0	0
15:15	15:30											0	0	0	0	0	0	0
15:30	15:45											0	0	0	0	0	0	0
15:45	16:00											0	0	0	0	0	0	0
16:00	16:15											0	0	0	0	0	0	0
16:15	16:30											0	0	0	0	0	0	0
16:30	16:45											0	0	0	0	0	0	0
16:45	17:00											0	0	0	0	0	0	0
17:00	17:15											0	0	0	0	0	0	0
17:15	17:30											0	0	0	0	0	0	0
17:30	17:45											0	0	0	0	0	0	0
17:45	18:00											0	0	0	0	0	0	0
18:00	18:15											0	0	0	0	0	0	0
18:15	18:30											0	0	0	0	0	0	0
18:30	18:45											0	0	0	0	0	0	0
18:45	19:00											0	0	0	0	0	0	0
19:00	19:15											0	0	0	0	0	0	0
19:15	19:30											0	0	0	0	0	0	0
19:30	19:45											0	0	0	0	0	0	0
19:45	20:00											0	0	0	0	0	0	0
20:00	20:15											0	0	0	0	0	0	0
20:15	20:30											0	0	0	0	0	0	0
20:30	20:45											0	0	0	0	0	0	0
20:45	21:00											0	0	0	0	0	0	0
21:00	21:15											0	0	0	0	0	0	0
21:15	21:30											0	0	0	0	0	0	0
21:30	21:45											0	0	0	0	0	0	0
21:45	22:00											0	0	0	0	0	0	0
22:00	22:15											0	0	0	0	0	0	0
22:15	22:30											0	0	0	0	0	0	0
22:30	22:45											0	0	0	0	0	0	0
22:45	23:00											0	0	0	0	0	0	0
23:00	23:15											0	0	0	0	0	0	0
23:15	23:30											0	0	0	0	0	0	0
23:30	23:45											0	0	0	0	0	0	0
23:45	24:00:00											0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Autor

Anexo 2 Cálculo del TPDA

SEMANAS DE LA SEMANA	CAMIONES					TOTAL VEHÍCULOS
	LIVIANOS	BUSES	2 EJES	3 EJES	TRÁILER	
30/03/2023	7276	107	129	3	0	7515
31/03/2023	7296	68	149	8	0	7521
01/04/2023	4401	43	83	2	1	4530
02/04/2023	2480	14	10	0	0	2504
03/04/2023	7452	105	109	3	6	7675
04/04/2023	7811	57	127	4	1	8000
05/04/2023	8174	88	158	6	0	8426
SUBTOTAL	44890	482	765	26	8	46171
TOTAL	44890	482	791		8	46171
TOTAL%	97,23%	1,04%	1,71%		0,02%	100,00%

TABLA DE COMBUSTIBLE

MES	87 OCTANO	92 OCTANO	DIESEL PREMIU	SUMA
ENE	1.052.363	152.818	1.356.625	2.561.806
FEB	1.051.604	172.167	1.166.813	2.390.584
MAR	1.076.532	157.184	1.390.994	2.624.710
ABR	1.078.137	150.557	1.436.940	2.665.634
MAY	1.097.396	160.591	1.498.298	2.756.285
JUN	1.087.820	144.747	1.629.311	2.861.878
JUL	1.136.154	146.993	1.794.785	3.077.932
AGO	1.198.528	181.805	1.913.722	3.294.055
SEP	1.123.071	149.443	1.861.273	3.133.787
OCT	1.143.466	141.954	1.756.472	3.041.892
NOV	1.113.448	145.745	1.819.622	3.078.815
DIC	1.256.337	162.417	1.845.621	3.264.375

FACTORES DE VARIACIÓN	Fe	TPS	TPDA
-----------------------	----	-----	------

Fh	1	1,164	6596	7678	Vehículos
Fd	1				
Fs	1,07				
Fm	1,09				

CAMIONES					
LIVIANOS	BUSES	2 EJES	3 EJES	TRÁILER	TOTAL
52253	561	921		9	53744

TPDA 2023

CAMIONES					
LIVIANOS	BUSES	2 EJES	3 EJES	TRÁILER	TOTAL
7465	80	132		1	7678

Fuente: Autor.

Anexo 3 Cálculo Proyección para 10 años

TPDA	2023
LIVIANOS	7465
BUSES	80
CAMIONES	132
TRÁILERS	1
	7678

Tasas de crecimiento vehicular			
PERIODO	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES
2018-2020	0,0538	0,0227	0,0445
2020-2021	0,0516	0,0196	0,0407
2025-2034	0,0451	0,0172	0,0367
2030-2033	0,0339	0,0151	0,0333
2035-2044	0,0363	0,0136	0,0299
2040-2041	0,0342	0,0126	0,0267

VEHÍCULOS MOTORIZADOS MATRICULADOS SEGÚN CLASE, AÑO 2021 (POR PROVINCIA) (NÚMERO)

PROVINCIA	TOTAL	CLASE										
		Automóvil	Autobús	Camión	Camioneta	Furgoneta	SUV	Motocicleta	Tanquero	Trailer	Volqueta	Otra Clase
Total	7678	3994	22193	6637	32941	51853	41796	24068	2441	12013	10716	5754
Azuay	163598	51742	1537	6637	32941	51853	41796	24068	2441	12013	10716	5754

LIVIANOS	TOTAL		%	SUMA
	CAMIONETAS	77.801		60,06%
AUTOMÓVILES	129.543		39,94%	

CAMIONES	TOTAL		%	SUMA
	2DB	765		96,60%
	3A	26		3,40%

BUSES	TOTAL		%	SUMA
BP	482		100,00%	100,00%

TRAILERS	TOTAL		%	SUMA
	4C	8		100,00%

LIVIANOS	AUTOMÓVILES		%	SUMA
	CAMIONES	39,94%		0,40
	60,06%		0,60	

CAMIONES	2DB		%	SUMA
	3A	3,40%		0,03
		100,00%		1,00

BUSES	BP		%	SUMA
	100,00%		1,00	

TRAILER	4C		%	SUMA
	100,00%		1,00	

TIPO	DISTRIBUCIÓN MÁXIMA DE CARGA POR EJE	DESCRIPCIÓN	PESO MÁXIMO PERMITIDO (Tm.)	LONGITUDES MÁXIMAS PERMITIDAS (metros)
2 B		CAMIÓN DE 2 Ejes FURGÓN	7	5,00 2,50 3,00
3DA		CAMIÓN DE 3 Ejes MEDIANO	10	7,50 2,50 3,50
3DB		CAMIÓN DE 3 Ejes GRANDE	18	12,30 2,50 4,30
3A		CAMIÓN DE 3 Ejes	27	12,30 2,50 4,30
4C		CAMIÓN DE 4 Ejes	31	12,30 2,50 4,30
4B		CAMIÓN CON TRANSFERENCIA DIFERENCIAL Y TRANSFERENCIA POSTERIOR	32	12,30 2,50 4,30
V2DB		VOLQUETA DE DOS EJES 18 T	18	12,30 2,50 4,30
V3A		VOLQUETA DE TRES EJES 30 T	27	12,30 2,50 4,30
V2S		VOLQUETA DE DOS EJES 18 T	27	12,30 2,50 4,30
T2		TRACTOR-CAMIÓN DE 2 Ejes	18	8,50 2,50 4,30
T3		TRACTOR-CAMIÓN DE 3 Ejes	27	8,50 2,50 4,30

PROYECCIONES

PERIODO DE DISEÑO n= 10 años

Tipo de vehículo	2023	2025	2030	2033	%CON AUTOS	% SIN AUTOS
	TPDAo					
AUTOMÓVILES	2382	3298	4112	4624	38,93%	
CAMIONETAS	4483	4958	6182	6952	58,62%	
BUS	80	83	90	94	0,79%	33,22%
CAMION 2E (2DB)	127	138	165	182	1,53%	64,31%
CAMION 3E (3A)	4	4	5	6	0,05%	2,12%
TRAILERS (4C)	1	1	1	1	0,01%	0,33%
TOTAL CON AUTOS	7677	8462	10555	11853		
TOTAL SIN AUTOS	212	226	261	283	100,00%	100,00%

Fuente: Autor.

Anexo 4 Cálculo ESALS flexible

PERIODO DE DISEÑO n 10 años

PORCENTAJE DE ASIGNACIÓN VEHICULAR

Tipo de vehiculo	2023	2025	2030	2033	%CON AUT	% SIN AUT
	TPDAo					
AUTOMOVILES	2982	3298	4112	4624	38,99%	
CAMIONETAS	4483	4958	6182	6952	58,62%	
BUS	80	83	90	94	0,79%	33,22%
CAMION 2E (2DB)	127	138	165	182	1,53%	64,31%
CAMION 3E (3A)	4	4	5	6	0,05%	2,12%
TRAILERS (4C)	1	1	1	1	0,01%	0,35%
TOTAL CON AUTOS	7677	8482	10555	11859		
TOTAL SIN AUTOS	212	226	261	283	100,00%	100,00%

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CONVERSIÓN EQUIVALENTE (FCE) CON AUTOS

Tipo	Carga Total Peso	Cargas por eje	FCE Parcial	FCE Parcial*%
Automóvil	3	1,5	0,0027	0,00105277
		1,5	0,0027	0,00105277
CAMIONETAS	5	1,5	0,0027	0,001582798
		3,5	0,0791	0,046370116
BP	13,1	3,9	0,1219	0,000966237
		9,2	1,5845	0,012559491
2DB	18	7	1,2654	0,019420086
		11	3,2383	0,04969817
3A	27	7	1,2654	0,000640223
		20	3,0776	0,001557096
4C	31	7	1,2654	0,000106704
		24	1,4549	0,000122683
				0,135129142

DISTRIBUCIÓN DE TRÁFICO	
Dt	0,5
ESALS	
N8.2	2408893

Fuente: Autor.

Anexo 5 Cálculo ESALS Rígido

PERIODO DE DISEÑO		n	10 años			
PORCENTAJE DE ASIGNACIÓN VEHICULAR						
	2023	2025	2030	2033		
Tipo de vehículo	TPDAo				%CON AU	% SIN AUT
AUTOMOVILES	2982	3298	4112	4624	38,99%	
CAMIONETAS	4483	4958	6182	6952	58,62%	
BUS	80	83	90	94	0,79%	33,22%
CAMION 2E (2DB)	127	138	165	182	1,53%	64,31%
CAMION 3E (3A)	4	4	5	6	0,05%	2,12%
TRAILERS	1	1	1	1	0,01%	0,35%
TOTAL CON AUTOS	7677	8482	10555	11859		
TOTAL SIN AUTOS	212	226	261	283	100,00%	100,00%
DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE CONVERSIÓN EQUIVALENTE (FCE) CON AUTOS						
Tipo	Carga Total	Cargas por eje	FCE Parcial	FCE Parcial*%		
Automóvil	3	1,5	0,0023	0,000897		
		1,5	0,0023	0,000897		
CAMIONETAS	5	1,5	0,0023	0,001348		
		3	0,0395	0,023156		
BP	13,1	3,9	0,1157	0,000917		
		3,2	1,6029	0,012705		
2DB	18	7	1,2728	0,019534		
		11	3,3348	0,051179		
3A	27	7	1,2728	0,000644		
		20	5,3264	0,002695		
4C	31	7	1,2728	0,000107		
		24	3,5375	0,000298		
				0,114377		
DISTRIBUCIÓN DE TRÁFICO						
Dt	0,5					
ESALS						
N8.2	2038959					

Fuente: Autor.

Anexo 6 Diseño Pavimento flexible

- Esals 2408893
- CBR 2,5 %
- 1. Periodo de diseño 10 años
- 2. Serviciabilidad 4,2 PSIo
2 PSIt
2,2 ΔPSI
- 3. Confiabilidad 85 R
-1,036 ZR
- 4. Desviación estandar 0,5 So

Para autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico	2.5-PSI<3
Para autopistas urbanas y troncales de tráfico normal, así como para autopistas interurbanas	2.0-PSI<2.5
Para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas	1.8-PSI<2.0

R	Zr
65	-0.385
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.842
85	-1.036
90	-1.282
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.055
99	-2.328

Clasificación	Nivel de Confiabilidad recomendado	
	Urbana	Rural
Autopistas interestatales y otras	85 - 99.9	80 - 99.9
Arterias principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras de Tránsito	80 - 95	75 - 95
Carreteras locales	50 - 80	50 - 80

Proyecto de pavimento	S _p	
	Flexible	Rígido
Construcción nueva	0.45	0.35
Sobrecapas	0.50	0.40

5. Módulo de resiliencia Mr 3750 lb/in2

- Mr = 1500 * (CBR) [lb/in²] CBR = 10
- Mr = 3000 * (CBR)^{0.65} [lb/in²] 10 = CBR = 20
- Mr = 4326 * La (CBR)^{0.241} [lb/in²] Suelo: Generalre:

este sn debería ser el de

SN	4,7	
este sn deber	6,38	6,41
	OK	

A	6,35698865
B	-0,0889411
C	0,53062516
D	-0,1676157
E	0,22175254

$$\log_{10}(H'_{18}) = Z_R S_{0.2} + 9.36 \log_{10}(SN+1) - 0.2 + \frac{\log_{10}(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5})}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{3.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_r) - 8.07$$

Coefficiente de drenaje

- Capa de rodadura 1 calidad de drenaje buena
- Capas granulares 0.8 calidad de drenaje

Capas	coeficiente		Espesor (cm)	SN Parcial
	Estructural (a)	Drenaje (m)		
Carpeta en caliente	0,173	1	7,62	1,3
Carpeta en caliente	0,173	1	5,08	0,9
Base granular CBR 80%	0,04	0,8	20	0,64
Suelo cemento	0,11	0,8	20	1,76
Mejoramiento	0,03	0,8	5	0,12
		TOTAL	57,7	4,7

OK

CLASE DE MATERIAL	NORMAS	COEF. (a)
CAPA DE SUPERFICIE		
Concreto Asfáltico	EST. DE MARSHALL 1000-1800 LBS	0.134-0.173
Asfalto Asfáltico	EST. DE MARSHALL 500-800 LBS	0.079-0.118
Carpeta Bituminosa Mezclada en el Camino	EST. DE MARSHALL 300-600 LBS	0.059-0.098
CAPA DE BASE		
Agregados Triturados graduados uniformemente	P. I. 0-4, C B R > 100%	0.047-0.055
Grava Graduada Uniformemente	P. I. 0-4, C B R > 30-50%	0.028-0.051
Concreto Asfáltico	EST. DE MARSHALL 1000-1600 LBS	0.098-0.138
Asfalto Asfáltico	EST. DE MARSHALL 500-800 LBS	0.059-0.098
Agregado Grueso Estabilizado con cemento	RESIST. A LA COMP. 28-45 KG/CM ²	0.079-0.118
Agregado Grueso Estabilizado con cal	RESIST. A LA COMP. 7 KG/CM ²	0.059-0.118
Suelo Cemento	RESIST. A LA COMP. 18-32 KG/CM ²	0.047-0.079
CAPA DE SUB-BASE		
Asfalto - Grava, graduada uniformemente	P. I. 0-4, C B R 30 +%	0.035-0.043
Suelo - Cemento	RESIST. A LA COMP. 18-32 KG/CM ²	0.059-0.071
Suelo - Cal	RESIST. A LA COMP. 5 KG/CM ²	0.059-0.071
MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE		
Asfalto o Suelo Seleccionado	P. I. 0-30	0.020-0.035
Suelo con Cal	3% MIN. DE CAL EN PESO DE LOS SUELOS	0.028-0.039
TRATAMIENTO SUPERFICIAL BITUMINOSO		
Triple Riego		0.40
Doble Riego		0.25
Simple Riego		0.15

Fuente: Autor.

Anexo 7 Diseño Pavimento Rígido

- Esals 2038959
- CBR 2,5 %
- 1. Periodo de diseño** 10 años
- 2. Serviciabilidad** 4,5 PSlo
2 PSlt
2,5 ΔPSI
- 3. Confiabilidad** 85 R
-1,036 ZR
- 4. Desviación esta** 0,4 So

Clasificación	Nivel de Confiabilidad recomendado	
	Urbana	Rural
Autopistas interestatales y otras	85 - 99.9	80 - 99.9
Aerías principales	80 - 99	75 - 95
Colectoras de Tránsito	80 - 95	75 - 95
Carreteras locales	50 - 80	50 - 80

Para autopistas urbanas y troncales de mucho tráfico	2.5<PSI<3
Para autopistas urbanas y troncales de tráfico normal, así como para autopistas interurbanas	2.0<PSI<2.5
Para vías locales, ramales, secundarias y agrícolas	1.8<PSI<2.0

R	Zr
65	-0.385
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.842
85	-1.036
90	-1.282
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.055
99	-2.328

Proyecto de pavimento	So	
	Flexible	Rígido
Construcción nueva	0.45	0.35
Sobrecapas	0.50	0.40

$$K = 2.55 + 52.5 \cdot \log(CBR), CBR \leq 10\%$$

$$K = 46 + 9.08 \cdot [\log(CBR)]^{4.34}$$

$$K_c = [1 + (h/38)^2 \times (K_g/K_s)^{0.5}]^{0.5} \times K_g$$

K_g (kg/cm²): Coeficiente de reacción de la sub base granular
 K_s (kg/cm²): Coeficiente de reacción combinado
 K_c (kg/cm²): Coeficiente de reacción de la sub rasante
 h : Espesor de la subbase granular

Calidad del Drenaje	Porcentaje de tiempo en el que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
	Menos del 1%	1%-5%	5%-25%	Más del 25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Buena	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Mediana	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Mala	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy Mala	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

- 5. Coeficiente de reaccion combinada** 19,42 k1
2,34 k0
20 h
3,42 Kc
34,246 kc
- kg/cm3
kg/cm3
cm
kg/cm3
Mpa/m

- 6. Coeficiente drenaje** 1 Cd
cuencia entre 0.3-1

- 7. Modulo de rotura del concreto** 2,2 a
280 fc
36,81 Mr
3,61 Mr
- kg/cm2
Mpa

RANGO DE PESADO EXPRESADO EN EE	RESISTENCIA MEDIA A LA FLEXION DEL CONCRETO (MR)	RESISTENCIA MEDIA EQUIVALENTE A LA COMPRESION DEL CONCRETO (FC)
≤ 5'000.000 EE	40 kg/cm ²	280 kg/cm ²
> 5'000.000 EE ≤ 15'000.000 EE	42 kg/cm ²	300 kg/cm ²
> 15'000.000 EE	45 kg/cm ²	350 kg/cm ²

$$MR = a \times \sqrt{f'c} \text{ (Valores en kg/cm}^2\text{)}$$

- 8. Modulo elastico del concreto** 24628,41 E Mpa

- 9. Coeficiente de transmision de carga** 2,8 J
Poner pasadores para estabilizar en carretera en locales no necesita

Tipo de Base	Valores de Coeficiente de Transmisión de Carga J			
	GRANULAR/GRANULAR		CONCRETO/GRANULAR	
	SI (con pasadores)	NO (con pasadores)	SI (con pasadores)	NO (con pasadores)
VALORES J	3.2	3.8-4.4	2.8	3.8

D	200	mm
6,31	=	6,31
	OK	

A	6.489811
B	-0.07918
C	1.15521
D	3.58
E	13.19304
F	14.21178
G	-0.0323

ancho de losa 0,2

$$\log_{10} M_{ci} = Z_s S_1 + 7.35 \log_{10} (D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1.25 \times 10^4} + (4.22 - 0.32P) \log_{10} \left(\frac{M.C. (0.092)^{0.77} - 1.132}{7.38} \right)$$

Fuente: Autor.

Anexo 8 Diseño juntas Pavimento Rígido

DISEÑO DE JUNTAS

TRANSVERSALES		
diámetro del pasador	34	mm
longitud pasador	35	cm
espaciamiento	30	cm
ancho del carril	7	m
# de juntas	23,33333333	u
l _{max}	5	
l _{max}	4,5	
l _{max}	8,4	

JUNTAS LONGITUDINALES		
fi 12		
espesor de losa	0,2	m
diámetro juntas	12	
longitud juntas	60	cm
S	90	

Fuente: Autor.

Anexo 9 Ensayos de clasificación

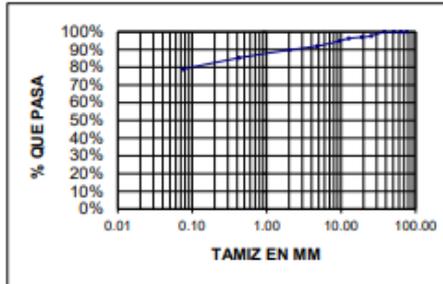
LABORATORIO DE SUELOS "SUELOTEC S.A"

PROYECTO : REDISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RÍGIDO DE LA CALLE HERNÁN MALO - CANTON CUENCA - PROV. AZUAY

ENSAYOS DE CLASIFICACION DE SUELOS

POZO N° 1 PROF: 0.00 - 1.70 mts
 FECHA: 27 DE ABRIL DEL 2023 COORDENADAS: 2.920202 - 79.001311

TAMIZ		P. RET.	P. RET.	%	%
M.M.	U.S	PARC. (GR.)	ACUM. (GR.)	RET.	PASA
76.200	3"	0	0	0.00%	100.00%
63.500	2 1/2"	0	0	0.00%	100.00%
50.800	2"	0	0	0.00%	100.00%
38.100	1 1/2"	0	0	0.00%	100.00%
25.400	1"	649	649	2.33%	97.67%
19.050	3/4"	192	841	3.02%	96.98%
12.700	1/2"	182	1023	3.67%	96.33%
9.525	3/8"	428	1451	5.20%	94.80%
4.750	No. 4	800	2251	8.07%	91.93%
PASA No. 4		25,641			
TOTAL		27892			
2.000	No. 10	12.00	12	10.28%	89.72%
0.425	No. 40	24.00	36	14.69%	85.31%
0.075	No. 200	35.00	71	21.12%	78.88%
TOTAL		500.00			



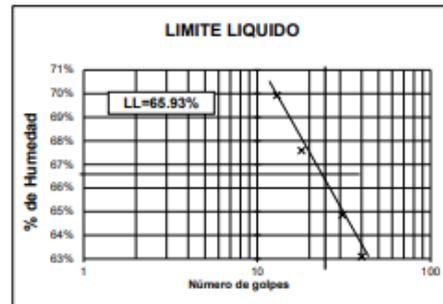
GRAVA G =	8.07%
ARENA S =	13.05%
FINOS F =	78.88%

HN =	17.79%
LL =	65.93%
LP =	30.14%
IP =	35.78%
IC =	

CLASIFICACION	
SUCS	CH
AASHO	A-7-5
IG	20

HUMEDAD	PESO	PESO	PESO	%
NATURAL	HUM.(GR.)	SECO. (GR.)	CAPS.(GR.)	HUMEDAD
	24.68	22.15	8.18	18.11%
	26.73	23.95	8.03	17.46%

LIMITE LIQUIDO				
NUMERO	PESO	PESO	PESO	%
GOLPES	HUM.(GR.)	SECO. (GR.)	CAPS.(GR.)	HUMEDAD
13	29.48	20.46	7.56	69.92%
18	26.57	18.73	7.13	67.59%
31	28.36	20.02	7.16	64.85%
40	27.11	19.35	7.05	63.09%
				LIMITE LIQUIDO 65.93%



ESTRATIGRAFIA DE LA CALICATA	
0.00 - 0.20 mts	MATERIAL GRANULAR TIPO LASTRE
0.20 - 1.70 mts	ARCILLAS PLASTICAS COLOR NEGRO CON MINORITARIA PRESENCIA DE ARENAS, GRAVAS Y BOLEOS

LIMITE PLASTICO				
	PESO	PESO	PESO	%
	HUM.(GR.)	SECO. (GR.)	CAPS.(GR.)	HUMEDAD
	13.55	12.17	7.58	30.07%
	19.88	17.00	7.63	30.52%
	13.09	11.84	7.65	29.83%
				30.14%



ING. RODRIGO PESANTEZ
GERENTE

Fuente: (Suelotec S.A, 2023)

Anexo 10 Ensayos de compactación

LABORATORIO DE SUELOS "SUELOTEC S.A"

PROYECTO : REDISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RÍGIDO DE LA CALLE HERNÁN MALO - CANTON CUENCA - PROV. AZUAY

COORDENADAS: 2.920202 - 79.001311

ENSAYOS DE COMPACTACION DE SUELOS POZO N° 1 PROF: 0.00 - 1.70 mts

AASHTO T 180-D

FECHA: 27 DE ABRIL DEL 2023

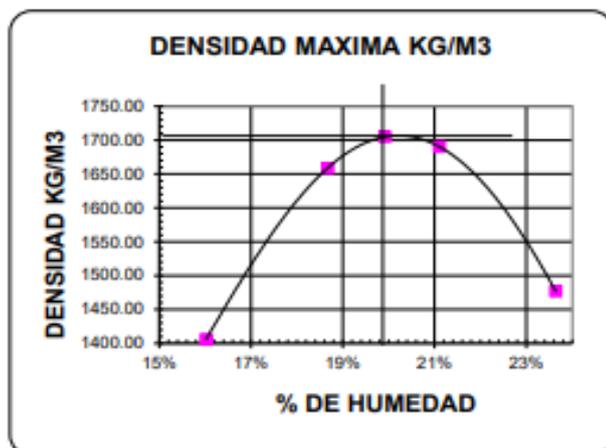
No. DE CAPAS	P. MARTILLO				ALT. CAIDA 18 PULG.
	10 LBS				
5					
MOLDE No.	1	2	3	4	5
MOLDE +SUELO HUM. (GR)	9,348	10,058	10,223	9,758	
PESO MOLDE (GR)	5,910	5,910	5,910	5,910	
PESO SUELO HUMEDO (GR)	3,438	4,148	4,313	3,848	
VOLUMEN MOLDE (CM3)	2,107	2,107	2,107	2,107	
DENSIDAD HUMEDA (KG/M3)	1,632	1,969	2,047	1,826	

MOLDE No.	1	2	3	4	
P. CAPSULA+SUELO HUM	70.07	62.89	52.02	53.67	
P. CAPSULA+SUELO SECO	61.41	54.17	44.27	44.81	
PESO CAPSULA	7.36	7.47	7.55	7.33	
PORCENTAJE DE HUMEDAD	16.02%	18.67%	21.11%	23.64%	

DENSIDAD SECA (KG/M3)	1,406	1,659	1,690	1,477	

DENSIDAD MAXIMA (KG/M3)	1,705

HUMEDAD OPTIMA	19.92%



SUELOTEC
 ASESORIA EN INGENIERIA CIVIL
 TELFS.: 0987 204-385 / 072 802-687

ING. RODRIGO PESANTEZ L.
 GERENTE

Fuente: (Suelotec S.A, 2023)

Anexo 11 Ensayo de CBR

LABORATORIO DE SUELOS "SUELOTEC S.A"

PROYECTO : REDISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RÍGIDO DE LA CALLE HERNÁN MALO - CANTON CUENCA - PROV. AZUAY

COORDENADAS: 2.920202 - 79.001311

ENSAYO DE CBR

POZO N° 1 PROF: 0.00 - 1.70 mts

FECHA: 27 DE ABRIL DEL 2023

NUMERO DE CAPAS	5		25		10	
NUMERO DE GOLPES/CAPA	55		25		10	
	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES
	REMOJO		REMOJO		REMOJO	
P. MUESTRA HUM. + MOLDE	13,627	13,673	13,240	13,328	13,238	13,378
PESO MOLDE	9,315	9,315	9,063	9,063	9,308	9,308
VOLUMEN DE LA MUESTRA	2,077	2,077	2,130	2,130	2,115	2,115

CONTENIDO DE AGUA

	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES
P. MUESTRA HUM. + TARRO	75.30	71.42	70.34	68.40	77.15	74.33
P. MUESTRA SECA + TARRO	63.01	59.60	59.21	55.04	64.71	61.04
PESO DEL TARRO	6.30	6.97	6.85	6.66	6.77	7.42
% DE HUMEDAD	21.67%	22.46%	21.26%	23.48%	21.47%	24.79%
% DE HUMEDAD AGUA ABSORVIDA	0.79%		2.22%		3.32%	

	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES	ANTES	DESPUES
	REMOJO		REMOJO		REMOJO	
DENSIDAD HUMEDA	2.076	2.098	1.961	2.001	1.858	1.924
DENSIDAD SECA	1.706	1.713	1.617	1.621	1.530	1.542

SUELOTEC
 ASESORIA EN INGENIERIA CIVIL
 TELFS.: 0987 204-385 / 072 802-682

ING. RODRIGO PESANTEZ L.
 GERENTE

Fuente: (Suelotec S.A, 2023)

Anexo 12 Ensayo de esponjamiento y penetración

LABORATORIO DE SUELOS "SUELOTEC S.A"

PROYECTO : REDISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE Y RÍGIDO DE LA CALLE HERNÁN MALO - CANTON CUENCA -
PROV. AZUAY

POZO N° 1 PROF: 0.00 - 1.70 mts

ENSAYO DE ESPONJAMIENTO COORDENADAS: 2.920202 - 79.001311 FECHA: 27 DE ABRIL DEL 2023

ALT. DEL MOLDE		4.5 PULG.			55.00			AREA DEL PISTON			3 PULG.*2		
FECHA	TIEMPO TRANS. DIAS	No. GOLPES/CAPA		ESPONJ. %	No. GOLPES/CAPA		ESPONJ. %	No. GOLPES/CAPA		ESPONJ. %	10.00		
		L. DIAL PULG.	H. MUEST. PULG.		L. DIAL PULG.	H. MUEST. PULG.		L. DIAL PULG.	H. MUEST. PULG.				
	0.00	0.000	4.500	0.00%	0.000	4.500	0.00%	0.000	4.500	0.00%			
	1.00	35.000	4.535	0.78%	50.000	4.550	1.11%	58.000	4.558	1.29%			
	2.00	50.000	4.550	1.11%	75.000	4.575	1.67%	100.000	4.600	2.22%			
	3.00	60.000	4.560	1.33%	110.000	4.610	2.44%	144.000	4.644	3.20%			

ENSAYO DE PENETRACION

CONSTANTE DEL ANILLO				AREA DEL PISTON				3 PULG.*2				10.00			
PENET. EN PULG.	No. GOLPES/CAPA			VALOR CBR	No. GOLPES/CAPA			VALOR CBR	No. GOLPES/CAPA			VALOR CBR	10.00		
	CARGA LBS	PRESION LBS/PUL2	P. STAND. LB/PULG2		CARGA LBS	PRESION LBS/PUL2	P. STAND. LB/PULG2		CARGA LBS	PRESION LBS/PUL2	P. STAND. LB/PULG2		CARGA LBS	PRESION LBS/PUL2	P. STAND. LB/PULG2
0	0	0			0	0			0	0					
25	27	9			16	5			8	3					
50	59	20			32	11			17	6					
75	91	30			47	16			26	9					
100	123	41	1,000	4.10%	63	21	1,000	2.10%	35	12	1,000	1.16%			
150	155	52			79	26			44	15					
200	187	62			94	31			53	18					
250	218	73			110	37			61	20					
300	250	83			125	42			70	23					

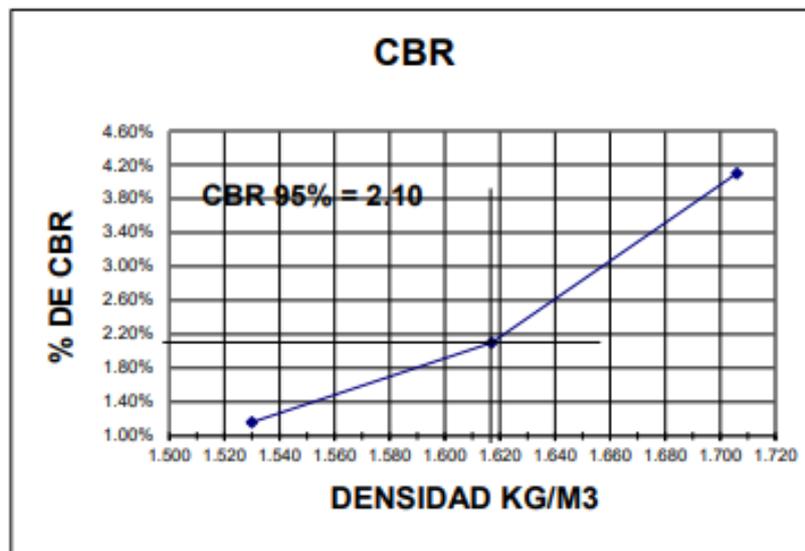
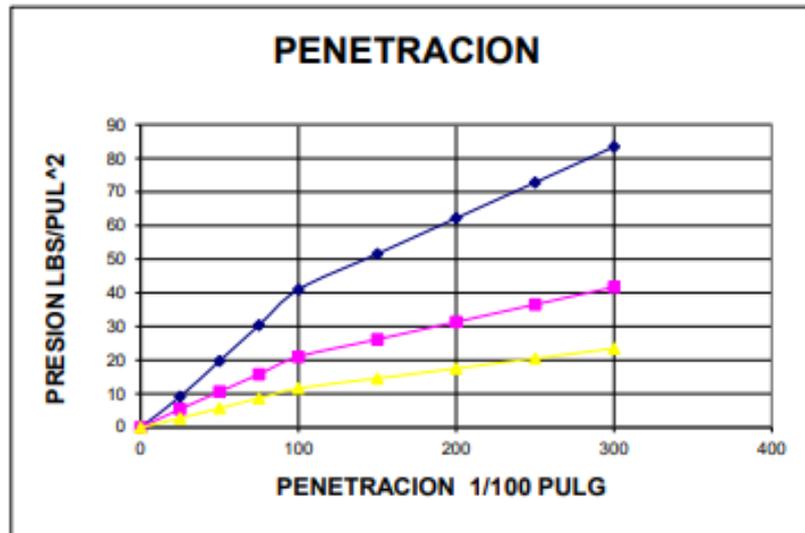


ING. RODRIGO PESANTEZ L.
GERENTE

Ensayos de suelos. Fuente: (Suelotec S.A, 2023)

Anexo 13 Gráfico de cálculo del CBR

LABORATORIO DE SUELOS "SUELOTEC S.A"



SUELOTEC
 ASESORIA EN INGENIERIA CIVIL
 TELFS.: 0987 204-385 / 072 802-687

ING. RODRIGO PESANTEZ L.
 GERENTE

Ensayos de suelos. Fuente: (Suelotec S.A, 2023)

Anexo 14 Coeficiente de capas

COEFICIENTE DE CAPAS DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS FLEXIBLES METODO AASHO		
CLASE DE MATERIAL	NORMAS	COEF. (cu)
CAPA DE SUPERFICIE		
Concreto Asfáltico	EST. DE MARSHALL 1000-1800 LBS	0.134-0.173
Arena Asfáltica	EST. DE MARSHALL 500-800 LBS	0.079-0.118
Carpeta Bituminosa Mezclada en el Camino	EST. DE MARSHALL 300-600 LBS	0.059-0.098
CAPA DE BASE		
Agregados Triturados graduados uniformemente	P.I. 0-4, C B R > 100%	0.047-0.055
Grava Graduada Uniformemente	P.I. 0-4, C B R > 30- 80%	0.028-0.051
Concreto Asfáltico	EST. DE MARSHALL 1000-1600 LBS	0.098-0.138
Arena Asfáltica	EST. DE MARSHALL 500-800 LBS	0.059-0.098
Agregado Grueso Estabilizado con cemento	RESIST. A LA COMP. 28-46 KG/CM2	0.079-0.138
Agregado Grueso Estabilizado con cal	RESIST. A LA COMP. 7 KG/CM2	0.059-0.118
Suelo Cemento	RESIST. A LA COMP. 18-32 KG/CM2	0.047-0.079
CAPA DE SUB-BASE		
Arena - Grava, graduada uniformemente	P.I. 0-6, C B R 30 +%	0.035-0.043
Suelo - Cemento	RESIST. A LA COMP. 18-32 KG/CM2	0.059-0.071
Suelo - Cal	RESIST. A LA COMP. 5 KG/CM2	0.059-0.071
MEJORAMIENTO DE LA SUBRASANTE		
Arena o Suelo Seleccionado	P.I. 0-10	0.020-0.035
Suelo con Cal	3% MIN. DE CAL EN PESO DE LOS SUELOS	0.028-0.039
TRATAMIENTO SUPERFICIAL BITUMINOSO		
Triple Riego		0.40
Doble Riego		0.25
Simple Riego		0.15
	* USAR ESTOS VALORES PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE TRATAMIENTOS BITUMINOSOS, SIN CALCULAR ESPESORES	

Fuente: AASHTO 93

Anexo 15 Referencia juntas transversales

Espesor de losa (cm)	Diámetro del pasador (")	Longitud del pasador (cm)	Separación entre barras (cm)
14 - 15	3/4	35	30
16 - 18	7/8	35	
19 - 20	1	35	
21 - 23	1 1/8	40	
24 - 25	1 1/4	45	
26 - 28	1 3/8	45	
29 - 30	1 1/2	50	

Fuente: AASHTO 93

Anexo 16 Referencia juntas longitudinales

Acero de $f_y=280$ MPa (40.000 psi)												
H (cm)	Barra de $\phi 3/8"$			Barra de $\phi 1/2"$			Barra de $\phi 5/8"$					
	L (cm)	S (cm)			L (cm)	S (cm)			L (cm)	S (cm)		
		3.05	3.35	3.65		3.05	3.35	3.65		3.05	3.35	3.65
15.0		80	75	65		120	120	120		120	120	120
17.5		70	60	55		120	110	100		120	120	120
20.0	45	60	55	50	60	105	100	90	70	120	120	120
22.5		55	50	45		95	85	80		120	120	120
25.0		45	45	40		85	80	70		120	120	120

Fuente: AASHTO 93