

**Tutoriales como mecanismo de apoyo en el proceso educativo y formativo del diseño de pavimentos con software libres**

**Iván Edgardo Toro Mera**

**ID: 000 274446**

**Miguel Fabián Niño Jaimes**

**ID: 000219752**

**Universidad Pontificia Bolivariana**

**Facultad de Ingeniería**

**Programa de Ingeniería Civil**

**Bucaramanga**

**2021**

**Tutoriales como mecanismo de apoyo en el proceso educativo y formativo del diseño de pavimentos con software libres**

**Iván Edgardo Toro Mera**

**ID: 000 274446**

**Miguel Fabián Niño Jaimes**

**ID: 000219752**

**Norma Cristina Solarte**

**Ingeniera Civil**

**Director Académico**

**Universidad Pontificia Bolivariana**

**Facultad de Ingeniería**

**Programa de Ingeniería Civil**

**Bucaramanga**

**2021**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

---

Firma DIRECTORA

---

Firma CALIFICADOR N°1

---

Firma CALIFICADOR N°2

**Bucaramanga, Octubre de 2021**

## **Dedicatoria**

Dios gracias por darnos los conocimientos en la tesis, En segundo lugar agradecemos a la Directora de tesis la INGENIERA NORMA CRISTINA SOLARTE, quien con sus conocimientos y apoyo nos guio a través de cada una de las etapas de nuestra tesis para así poder culminar con este proyecto.

También agradecemos a la UPB por los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, por brindarnos los docentes idóneos para el uso de las herramientas, programas y demás que nos hicieron tener la destreza en el ámbito ingenieril.

Por ultimo Agradecemos a todos los compañeros y familia, por apoyarnos aun cuando los ánimos decaían, y nuestros padres quiero hacer mención porque sin el apoyo económico no hubiésemos sido lo que somos y cada día ser mejores con la práctica a futuro en fin Dios bendiga esta tesis AMEN.

**Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción	15
1. Conceptos	17
2. Objetivos	19
2.1 Objetivo General	19
2.2 Objetivos Específicos	19
3. Marco Teórico	20
3.1 Proyectos Viales	20
3.2 Clasificación de las carreteras	20
3.2.1 Según su funcionalidad	21
3.2.2 Según el tipo de terreno	21
3.3 Dimensionamiento de pavimentos bituminosos y pavimentos rígidos	23
3.3.1 Pavimentos asfálticos o bituminosos	23
3.3.1.1 Método AASHTO – 93	23
3.3.1.1.1 Confiabilidad	23
3.3.1.1.2 Error nominal combinado	24
3.3.1.1.3 Índice de serviciabilidad	25
3.3.1.1.4 Tránsito	25
3.3.1.1.5 Subrasante	26
3.3.1.1.6 Número estructural	26
3.3.2 Pavimentos Rígidos	34
3.3.2.1 Método AASHTO – 93	34
3.3.2.2 Confiabilidad	34
3.3.2.3 Error nominal combinado	34
3.3.2.4 Índice de serviciabilidad	35
3.4 Tutoriales como herramienta de educación	42
3.4.1 El video educativo	43
3.4.1.1 Tipos de videos educativos.	45
3.5 Diseño de pavimentos a través de software	45

4. Metodología de trabajo en softwares de uso libre	47
4.1 Software Pavimr	47
4.1.1 Interfaz de Pavimr	47
4.2 Software método Aashto para el diseño de pavimentos (1993)	54
4.2.1 Interfaz del software método Aashto para el diseño de pavimentos (1993)	54
5. desarrollo de ejercicio práctico en los software seleccionados	66
5.1 Pavimento flexible	66
5.1.1 Software Pavimr	66
5.1.2 Software método Aashto para el diseño de pavimentos (1993)	69
5.2 Pavimento rígido	72
5.2.1 Software Pavimr	73
5.2.2 Software método Aashto para el diseño de pavimentos (1993)	76
6. Presentación de las metodologías a estudiantes de la Universidad Pontificia Bolivariana	81
6.1 Muestra	81
6.2 Perfil	82
7. Conclusiones y Recomendaciones	91
Referencias Bibliográficas	92

**Índice de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Clasificación vial según el tipo de terreno	21
Tabla 2. Nivel de confiabilidad R (%) según el tipo de carretera	23
Tabla 3. Valores de desviación normal estándar de acuerdo al nivel de confiabilidad	24
Tabla 4. Valor del error nominal combinado dependiente del proyecto de pavimento	24
Tabla 5. Valores de serviciabilidad final de acuerdo al tipo de vía	25
Tabla 6. Calidad del drenaje de acuerdo al tiempo que tarde el agua en ser evacuada	31
Tabla 7. Valores del coeficiente de drenaje para corregir los coeficientes estructurales de bases y subbases granulares para pavimentos flexibles.	31
Tabla 8. Espesores mínimos en pulgadas de la capa asfáltica y la base granular	32
Tabla 9. Valores de serviciabilidad final de acuerdo al tipo de vía.	35
Tabla 10. Valores de K para losas apoyadas sobre capa granular no tratada y base estabilizada con cemento	36
Tabla 11. Resistencia a la flexo-tracción de acuerdo al nivel de tránsito de la vía	37
Tabla 12. Módulo de elasticidad de acuerdo al tipo de agregado y su origen	37
Tabla 13. Valores del coeficiente de drenaje para corregir los coeficientes estructurales de bases y subbases granulares para pavimentos rígidos.	38
Tabla 14. Coeficiente de transferencia de carga de acuerdo a su condición	38
Tabla 15. Diámetro y longitud del pasador y separación entre barras de acuerdo al espesor de la losa de concreto	41
Tabla 16. Separación de las barras de anclaje dependiendo del espesor de la losa.	42
Tabla 17. Estructura de un video educativo	44
Tabla 18. Parámetros de muestreo proporcional (n)	81

**Índice de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Relación temperatura efectiva de la capa asfáltica vs Modulo resiliente	27
Figura 2. Gráfica para estimar el coeficiente estructural de la capa asfáltica basado en el módulo resiliente	28
Figura 3. Variación del coeficiente estructural de la base respecto a varios parámetros de la base del pavimento	29
Figura 4. Variación del coeficiente estructural de la subbase respecto a varios parámetros de subbase del pavimento	30
Figura 5. Perfil longitudinal de un pavimento rígido	40
Figura 6. Vista en planta de un pavimento rígido.	40
Figura 7. Descripción general interfaz software PavimR	47
Figura 8. Menús desplegados del software PavimR	48
Figura 9. Ventana Diseño de Pavimento Rígido del software PavimR	49
Figura 10. Selección de valor de $Z_r$ del software PavimR.	50
Figura 11. Información adicional del software PavimR.	51
Figura 12. Datos finales a ingresar en el Software PavimR.	51
Figura 13. Resultado obtenido con el Software PavimR.	52
Figura 14. Ventana Diseño de Pavimento Flexible del software PavimR	53
Figura 15. Resultado obtenido con el Software PavimR para pavimento flexible	54
Figura 16. Vista general interfaz software "Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)" para pavimento flexible.	55
Figura 17. Vista general interfaz software "Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)" para pavimento rígido.	55
Figura 18. Lista desplegable para ingresar la confiabilidad (R).	56
Figura 19. Ventana de la opción ayuda para selección la confiabilidad y la desviación estándar.	57
Figura 20. Ventana de la opción ayuda para seleccionar la serviciabilidad de diseño.	57
Figura 21. Espacio para ingresar el tránsito de diseño	58
Figura 22. Variables del pavimento rígido.	58
Figura 23. Selección de coeficiente de transferencia de carga (J).	59
Figura 24. Selección del coeficiente de drenaje (Cd).	59

Figura 25. Opción DISEÑAR para Ejecutar el software para pavimento rígido.	60
Figura 26. Vista general interfaz software "Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)" para pavimento flexible.	61
Figura 27. Columnas para ingresar las variables del pavimento flexible.	62
Figura 28. Propiedades de las capas	63
Figura 29. Módulo resiliente de la subrasante	63
Figura 30. Opciones de cálculo del módulo resiliente de la subrasante.	63
Figura 31. Selección del coeficiente de drenaje (m).	64
Figura 32. Espesores mínimos del concreto asfáltico y base granular en pulgadas.	64
Figura 33. Opción DISEÑAR para Ejecutar el software para pavimento flexible.	65
Figura 34. Paso 1 Selección opción pavimento flexible.	67
Figura 35. Ventana para ingresar parámetros del pavimento flexible.	67
Figura 36. Resultado del espesor de la capa asfáltica.	68
Figura 37. Resultado del espesor de la capa base.	68
Figura 38. Resultado del espesor de la capa subbase.	69
Figura 39. Selección de tipo de pavimento.	69
Figura 40. Selección de confiabilidad y desviación estándar.	70
Figura 41. Selección de serviciabilidad inicial y final.	70
Figura 42. Selección de serviciabilidad inicial y final.	71
Figura 43. Ingreso de datos del pavimento flexible.	71
Figura 44. Resultados del software.	72
Figura 45. Paso 1 Selección opción pavimento rígido	73
Figura 46. Ventana para ingresar parámetros del pavimento rígido.	74
Figura 47. Resultado del espesor de la losa de concreto.	75
Figura 48. Resultado del espesor de la base estabilizada con cemento.	75
Figura 49. Resultado del espesor de la base granular.	76
Figura 50. Selección de tipo de pavimento.	77
Figura 51. Selección de confiabilidad y desviación estándar.	77
Figura 52. Selección de serviciabilidad inicial y final.	78
Figura 53. Ingreso del tránsito de diseño.	78
Figura 54. Ingreso de datos del pavimento flexible.	79

Figura 55. Resultados del software.	79
Figura 56. Pregunta 1 del formulario	82
Figura 57. Pregunta 2 del formulario	83
Figura 58. Pregunta 3 del formulario	83
Figura 59. Pregunta 4 del formulario	84
Figura 60. Pregunta 5 del formulario	84
Figura 61. Pregunta 6 del formulario	85
Figura 62. Pregunta 7 del formulario	85
Figura 63. Pregunta 8 del formulario	86
Figura 64. Pregunta 9 del formulario	86
Figura 65. Pregunta 10 del formulario	87
Figura 66. Pregunta 11 del formulario	87
Figura 67. Pregunta 12 del formulario	88
Figura 68. Pregunta 13 del formulario	88
Figura 69. Pregunta 14 del formulario	89
Figura 70. Pregunta 15 del formulario	89

## **Índice de Cuadros**

	<b>Pág.</b>
Cuadro 1. Resumen del Método AASHTO – 93	34
Cuadro 2. Resumen del Método AASHTO – 93 para pavimento rígido.	42



## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** TUTORIALES COMO MECANISMO DE APOYO EN EL PROCESO EDUCATIVO Y FORMATIVO DEL DISEÑO DE PAVIMENTOS CON SOFTWARE LIBRES

**AUTOR(ES):** IVÁN EDGARDO TORO MERA  
MIGUEL FABIÁN NIÑO JAIMES

**PROGRAMA:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR(A):** Norma Cristina Olarte

### RESUMEN

El diseño de pavimentos es una de las áreas de aprendizaje abordadas durante el pregrado de los estudiantes de ingeniería civil. Utilizar los software que ofrece el mercado en el diseño de pavimentos, optimiza los procesos y reduce el porcentaje de error en procedimientos aritméticos ejecutados durante el proceso de diseño de un pavimento vial. El alcance del trabajo de grado parte del conocimiento previamente adquiridos por parte de los estudiantes de ingeniería civil, en el diseño de pavimentos rígidos y flexibles; partiendo del contexto presentado, se busca fomentar el uso de software de uso libre en el diseño de pavimentos rígidos y flexibles por parte de los estudiantes de la facultad de ingeniería civil de la Universidad Pontificia Bolivariana. El estudio realizado presenta una metodología que permita dar acompañamiento a los estudiantes en el manejo de los software seleccionados y fomentar el uso de herramientas tecnológicas que generen aptitudes distintivas en los profesionales de ingeniería civil de la Universidad Pontificia Bolivariana. El alcance del estudio finaliza evaluando la aceptación de las metodologías presentadas.

### PALABRAS CLAVE:

Pavimento rígido, Pavimento Flexible, Software de uso libre.

Vº Bº DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** TUTORIALS AS A SUPPORT MECHANISM IN THE EDUCATIONAL AND TRAINING PROCESS OF THE DESIGN OF FLOORS WITH FREE SOFTWARE

**AUTHOR(S):** IVÁN EDGARDO TORO MERA  
MIGUEL FABIÁN NIÑO JAIMES

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Civil

**DIRECTOR:** Norma Cristina Olarte

### ABSTRACT

Pavement design is one of the learning areas addressed during undergraduate students from civil Engineering. Use the software offered by the market in the design of pavements, optimizes the processes and reduces the percentage of error in arithmetic procedures performed during the pavement design process vial. The scope of the degree work is based on the knowledge previously acquired by the students of civil engineering, in the design of rigid and flexible pavements; starting from the presented context, it seeks to promote the use of free software in the design of rigid and flexible pavements by the students of the Faculty of Civil Engineering of the Universidad Pontificia Bolivariana. The study carried out presents a methodology that allows to accompany the students in the management of the selected software and encourage the use of technological tools that generate distinctive skills in civil engineering professionals at the University Pontifical Bolivariana. The scope of the study ends by evaluating the acceptance of the methodologies presented.

**KEYWORDS:**

Rigid Pavement, Flexible Pavement, Free-to-use Software.

**Vº Bº DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## **Introducción**

El sector de la construcción impacta directamente en la economía de una sociedad. Un país que invierte recursos para sus vías dinamiza el comercio, genera empleo, y mejora la calidad de vida en cada uno de sus habitantes.

Colombia trabaja en inversiones viales que permitan la modernización y comunicación entre sectores productivos, corredores arteriales y centros poblacionales de manera eficiente; es una realidad que en pleno siglo XXI el país tiene un gran número de poblaciones incomunicadas, por la inexistencia o deterioro de los corredores viales ubicados a lo largo del territorio nacional.

Una vía en mal estado dificulta el acceso a servicios de primera necesidad como la salud y la educación; a su vez perjudica la integridad de los vehículos acrecentando el consumo de combustible y disminuyendo la vida útil de los mismos (**ECOASFALT, 2019**).

La ingeniería civil es la disciplina encargada de liderar, y ejecutar proyectos en materia de vías que permitan solucionar las problemáticas descritas. Las obras ejecutadas deben cumplir con los alcances, especificaciones y directrices pactadas contractualmente durante la etapa de formulación. La naturaleza de los proyectos y los desafíos presentados a la ingeniería ha incentivado la búsqueda de materiales, herramientas y procedimientos que permitan construir corredores viales con alto impacto y la mayor vida útil posibles.

La tecnología es una herramienta durante la etapa de formulación de un proyecto permite optimizar los procedimientos, mejorar los diseños y minimizar el margen de error en procedimientos que puedan presentar errores de tipo humano, con el fin de obtener los mejores resultados posibles ante los objetivos propuestos

Uno de los ejemplos de la importancia de la tecnología en el contexto planteado es la creación de softwares que permiten apoyar el diseño de pavimentos durante un proyecto vial.

Generar una guía como mecanismo de apoyo en software de diseño de pavimentos, surge como una herramienta que promueve aptitudes en los profesionales en formación de la Universidad Pontificia Bolivariana que les permitan ser competitivos en el mercado profesional y trabajar en proyectos de alto impacto.

Durante la etapa de pregrado los estudiantes trabajan a profundidad en la teoría concerniente a los diferentes métodos existentes para el diseño de pavimentos, pero no profundizan en las diferentes herramientas tecnológicas que se atusan como apoyo durante la ejecución de

proyectos viales y robustecer las competencias adquiridas, a raíz de la falta de metodologías y guías de apoyo que les permitan ejecutar los software que ya han escuchado nombrar.

## 1. Conceptos

**Diseño de pavimento:** Es el proceso de desarrollo de la combinación más económica de capas de pavimentos teniendo en cuenta el tipo de material y espesor que se adapte a la fundación del pavimento (subrasante) y las cargas del tráfico al cual estará sometido durante un periodo de diseño establecido (**Implementation of the ASSHTO Pavement Design Procedures into Multi-PAVE**)

**Pavimento:** Estructura compuesta por capas de materiales seleccionados que periten aumentar la capacidad de carga de un terreno y que se construyen para ofrecer comodidad, seguridad y economía al tránsito de vehículos en carretera, y consta de las siguientes capas: capa de rodamiento, capas de base (base y subbase) y subrasantes (Suelo compactado y suelo natural) (Pavements, 2016)

**Pavimento bituminoso (o asfáltico):** Es aquel pavimento en el cual su capa superior está compuesta por material bituminoso o asfáltico (Pavement Interactive, 2021). Dentro de este tipo de pavimento se encuentran: el pavimento flexible, el pavimento semirrígido y el pavimento Full Depth.

**Pavimento rígido:** Es aquel pavimento en el cual su capa superior está compuesta por concreto hidráulico. Dentro de este tipo de pavimento se encuentran: el pavimento de losas sin refuerzo, el pavimento de losas con refuerzo continuo y el pavimento de losas con refuerzo estructural.

**Capa de rodamiento (Capa de superficie):** Es la capa estructural o capa superficie que sirve, también, como capa de desgaste. Esta capa está directamente expuesta al tráfico y a las condiciones ambientales y soporta directamente el tráfico vehicular.

**Capa base:** Es la capa que se encuentra debajo la capa de rodamiento (Capa de superficie), generalmente se construye con grava de buena calidad o agregados de triturados, usualmente se considera como la capa estructural más importante de un pavimento. Esta capa asegura una distribución eficiente de las cargas y permite un drenaje subterráneo adecuado (**Speight**).

**Capa subbase:** Es la capa que encuentra debajo de la capa base y proporciona soporte estructural a la capa subrasante con el fin de aumentar la capacidad de soportar cargas. Esta capa reduce la entrada de material fino de la subrasante y contribuye a la fundación de la vía.

**Capa subrasante:** Es la capa inferior de la estructura de pavimento, es típicamente suelo natural y agregado del tamaño seleccionado para ser compactado. Esta capa sirve como la base que sostiene la vía y tiene la capacidad de absorber el peso y esfuerzos que se transmitan desde las capas superiores.

**Método AASTHO – 93:** Es un método empírico desarrollado por la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (o por sus siglas en inglés AASHTO, de American Association of State Highway and Transportation Officials), a partir de los resultados del AASHO Road Test (Ochoa Rincon, 2017).

## **2. Objetivos**

### **2.1 Objetivo General**

Diseñar dos tutoriales educativos que permitan instruir a los estudiantes en el manejo de software de uso libre para el diseño de pavimentos.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Presentar información sobre los diferentes software de uso libre para diseñar pavimentos rígidos y flexibles.
- Explicar mediante videos educativos (tutoriales) las consideraciones más relevantes en el uso de software de uso libre para el diseño de pavimentos.
- Desarrollar un piloto que permita conocer la aceptación de la metodología explicada, dentro del entorno educativo de la Universidad Pontificia Bolivariana.

### 3. Marco Teórico

#### 3.1 Proyectos Viales

El tránsito de las comunidades a lo largo de diferentes espacios sirvió como aliciente para la creación de una infraestructura denominada carretera que permitiera el transporte de las comunidades. Bajo la normativa colombiana una vía se define como una zona de uso público o privado, que tiene objetivo permitir el tránsito de vehículos, personas y animales. (Código Nacional de Transito, 2002)

El diseño de esta infraestructura va condicionada a garantizar niveles adecuados de comodidad, seguridad y calidad en la circulación de cada uno de los usuarios viales. Durante el transcurso del pregrado los estudiantes de ingeniería civil reciben las herramientas y los conceptos demandados que les permitan realizar un diseño geométrico de un corredor vial; este planteamiento es el aspecto más preponderante durante la fase de formulación de un proyecto vial, debido a que establece la configuración en la construcción geométrica tridimensional que permita entregar una corredor estético, económico, seguro, funcional para cada una de las personas que lo transite. (Cardenas, 2015)

Con el aumento en la población mundial, crece proporcionalmente la necesidad de construir y optimizar carreteras que permitan el tránsito de vehículos de manera segura y cómoda. La evolución del parque automotor también incide en la necesidad de realizar diseños con velocidades más elevadas. La etapa de formulación de un proyecto vial busca diseñar carreteras con características funcionales evaluando las condiciones particulares del proyecto, y las directrices de diseño descritas en la diferente normativa que rige el sector de la construcción de vías en Colombia. La premisa esencial de un corredor vial es garantizar la seguridad de cada uno de los usuarios, entregando proyectos que brinden progreso a las comunidades beneficiadas en su construcción.

#### 3.2 Clasificación de las carreteras

La clasificación de las carreteras según la normativa nacional vigente se da a partir de dos grandes premisas: (INVIAS, 2008)

### 3.2.1 Según su funcionalidad

Esta primera clasificación va orientada a los intereses proyectados para el corredor vial, o a las inclinaciones nacionales que surjan durante el alcance formulado para el proyecto.

**PRIMARIAS:** Corredores viales de tipo troncal, transversal que comunican capitales de departamentos; se caracterizan por servir como canal de comunicación entre las zonas de mayor producción y consumo del país. Según la naturaleza del proyecto pueden ser construidas como calzadas divididas y obligatoriamente deben estar pavimentadas.

**SECUNDARIA:** Se caracterizan por servir de canal para comunicar las cabeceras municipales entre sí; a su vez conectan una cabecera municipal con una carretera primaria. Para este tipo de corredor se usa pavimento y en ocasiones afirmado.

**TERCIARIAS:** Este tipo de vía unen cabeceras municipales con veredas; a su vez también conectan veredas entre sí. Por el tipo de comunicación que presentan son construidas en afirmado.

### 3.2.2 Según el tipo de terreno

La segunda clasificación que se puede realizar se orienta a la topografía que predomina en el terreno seleccionado para desarrollar el tramo vial.

**Tabla 1.**

*Clasificación vial según el tipo de terreno*

TIPO DE TERRENO	PENDIENTE LONGITUDINAL	PENDIENTE TRANSVERSAL	OBSERVACIONES
Terreno plano	PL < 3°	PT < 5°	Demanda actividades constructivas de baja dificultad y un movimiento mínimo de tierras durante la intervención del terreno.
Terreno ondulado	%PL > 3° %PL < 6°	%PT > 6° %PT < 13°	Demandan un movimiento de tierras moderado durante la etapa de construcción. Este tipo de corredor condiciona a una reducción significativa en la velocidad por parte de vehículos pesados.

Terreno montañoso	%PL>6° %PL<8°	%PT>13° %PT<40°	Presenta dificultades de trazado y explanación. Se presenta la particularidad de que los vehículos pesados deben mantener una velocidad sostenida durante periodos de tiempo.
Terreno escarpado	%PL>8°	%PT>40°	Demandan dificultades en el trazado explanación y en la cantidad de material que debe ser excavado. En comparación al terreno montañoso también se presentan velocidades sostenidas, pero en menor magnitud.

Fuente: Manual de diseño geométrico de carreteras INVIAS, año

### Qué es un pavimento de carreteras

Un pavimento es una estructura apoyada sobre una base de subrasante de una vía que se caracteriza por contener una serie de capas de materiales específicos puestas horizontalmente empleando técnicas constructivas apropiadas para el tránsito de vehículos.

La capa de material en la cual reposa el pavimento, proviene de material seleccionado procedente de las excavaciones; según los diseños estimados, el volumen de material instalado debe contener la transmisión de esfuerzos y cargas generadas a partir del tránsito diario de los vehículos.

La construcción del pavimento para un tramo vial debe garantizar la contención de las cargas generadas por el tráfico de los vehículos, agentes climáticos, drenajes de escorrentía y demás factores externos que tomen incidencia en el correcto funcionamiento del sistema. En los materiales instalados deben prevalecer las características mecánicas que garanticen un nivel de seguridad apropiado para los usuarios del tramo vial. (Montejo, 2002)

Una estructura de pavimento debe presentar las siguientes características:

- Presentar resistencia a las cargas generadas por el tránsito de los vehículos.
- La superficie debe tener características que permitan la velocidad de diseño proyectada para los vehículos, garantizando la seguridad vial de todos los agentes involucrados.
- La estructura debe soportar el desgaste que los vehículos generan durante su circulación; a su vez debe soportar la acción de agentes externos.
- Durante la etapa de formulación del proyecto se debe diseñar una estructura en términos de durabilidad y economía.

- La estructura debe conservar características de color óptimas con el fin de evitar efectos visuales que pongan en peligro la integridad de los usuarios del corredor vial.

### 3.3 Dimensionamiento de pavimentos bituminosos y pavimentos rígidos

#### 3.3.1 Pavimentos asfálticos o bituminosos

**3.3.1.1 Método AASHTO – 93.** Para establecer el procedimiento se deben tener en cuenta variables como confiabilidad, error nominal combinado, índice de serviciabilidad, número estructural, coeficiente de drenaje, entre otros. A continuación, se describen cada una de las variables y consideraciones a tener en cuenta para el dimensionamiento de pavimento bituminoso (o asfalto) mediante la metodología AASHTO. (Aashto guide for design of pavement structures, 1993)

**3.3.1.1.1 Confiabilidad.** Se entiende como el inverso de la probabilidad de falla (Probabilidad de que lo que se esté diseñando falle), entre mayor será la confiabilidad, menor será la probabilidad de falla del diseño. La confiabilidad tiene en cuenta el grado de incertidumbre que se presenta durante la estimación de las variables de diseños. El nivel de confiabilidad, representado como  $R$  (%), se define a partir de la importancia que tiene la vía, de acuerdo Tabla 2, y a su vez con  $R$  (%) se determina la desviación normal estándar, representada como  $Z_r$ , y sus valores se encuentran en la Tabla 3.

**Tabla 2.**

*Nivel de confiabilidad  $R$  (%) según el tipo de carretera*

Tipo de carretera	Nivel de confiabilidad $R$ (%)	
	Urbana	Interurbana
Autopista y carreteras importantes	85 – 99.9	80 – 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures.

**Tabla 3.***Valores de desviación normal estándar de acuerdo al nivel de confiabilidad*

<b>Nivel de Confiabilidad R(%)</b>	<b>Desviación Normal Estándar Zr</b>
50	-0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures.

**3.3.1.1.2 Error nominal combinado.** El error nominal combinado, representado como  $S_o$ , tiene en cuenta la desviación del diseño, las variaciones de las propiedades de los materiales y de la capa subrasante, la variación de la estimación del tránsito y de las condiciones ambientales. Por tanto, es una desviación generalizada de todas las variables involucradas en el diseño. Para pavimento flexible varía entre 0.40 y 0.50 y para pavimento rígido varía entre 0.30 y 0.40, y se puede determinar su valor de acuerdo a la Tabla 4.

**Tabla 4.***Valor del error nominal combinado dependiente del proyecto de pavimento*

<b>Proyecto de pavimento</b>	<b>So</b>	
	<b>Flexible</b>	<b>Rígido</b>
	0.40-0.50	0.30-0.40
Construcción nueva	0.45	0.35
Sobrecapas	0.50	0.40

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures.

**3.3.1.1.3 Índice de serviciabilidad.** El índice de serviciabilidad se define como la capacidad que tiene el pavimento para atender el tipo de tránsito, ya sean automóviles y/o camiones, que se requiere. Esta variable se evalúa cuantitativamente con un número entre 0 y 5, siendo 0 una “vía imposible”, es decir, un pavimento totalmente destruido y 5 una “vía perfecta”, es decir un pavimento en condiciones totalmente perfectas. Generalmente y de acuerdo a estudios experimentales llevados a cabo, para vía recién construidas se parte de un índice de serviciabilidad entre 4.0 y 4.2 (estado bueno de la vía) y se tiene un valor entre 1.5 y 2.5 para la falla funcional del pavimento.

Teóricamente, el índice de serviciabilidad representado como  $\Delta PSI$ , se define como el índice de serviciabilidad inicial menos el índice de serviciabilidad final, de acuerdo a la Ecuación 1:

$$\Delta PSI = P_o - P_f \quad (1)$$

Donde:

$\Delta PSI$ : Índice de servicio.

$P_o$ : Serviciabilidad inicial.

$P_f$ : Serviciabilidad final.

En la Tabla 5, se presentan los valores de serviciabilidad final teniendo en cuenta el tipo de vía.

**Tabla 5.**

*Valores de serviciabilidad final de acuerdo al tipo de vía*

<b>Tipo de vía</b>	<b>Serviciabilidad final</b>
Autopista	2.5 – 3.0
Carreteras	2.0 – 2.5
Pavimento urbano industrial	1.5 – 2.0
Pavimento urbano secundario	1.5 – 2.0

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures

**3.3.1.1.4 Tránsito.** El tránsito representa la carga sobre el pavimento. En este método se utilizan ejes equivalentes de 80 kN y se cuantifica empleando el número de ejes equivalentes que pasan en el carril de diseño el periodo de diseño.

**3.3.1.1.5 Subrasante.** Representa la resistencia natural del terreno donde se va a colocar la estructura del pavimento. Se caracteriza a partir del módulo resiliente y se obtiene del ensayo triaxial o mediante correlación con CBR (**California Bearing Ratio**).

**3.3.1.1.6 Número estructural.** El número estructural es un parámetro que representa la capacidad estructural que tiene un pavimento en función del espesor de sus capas y la rigidez (módulo resiliente) de cada una de ellas soportando cierto número de ejes para cierto nivel de confiabilidad. El número estructural que proporciona la estructura de pavimento está dado por la Ecuación 2.

$$SN = a_1 h_1 + a_2 m_2 h_2 + a_3 m_3 h_3 \quad (2)$$

SN: Número estructural del pavimento.

$a_1$ : Coeficiente estructural de la capa asfáltica.

$a_2$ : Coeficiente estructural de la base.

$a_3$ : Coeficiente estructural de la subbase.

$h_1$ : Espesor de la capa asfáltica, en pulgadas.

$h_2$ : Espesor de la base, en pulgadas.

$h_3$ : Espesor de la subbase, en pulgadas.

$m_2$ : Coeficiente de drenaje de la base.

$m_3$ : Coeficiente de drenaje de la subbase.

La capa asfáltica se caracteriza mediante el módulo resiliente, el cual depende de la frecuencia de carga y de la temperatura, así como lo relacionan la Ecuación 3 y Ecuación 4.

$$f = \frac{v}{2\pi} \quad (3)$$

$$T_s = (-0.0093 * T^2 + 1.569 * T - 1.578) (-0.084 * \ln h_s + 1.55) \quad (4)$$

Donde:

$f$ : Frecuencia de aplicación de carga.

$v$ : Velocidad de operación de vehículos, en km/h.

$T_s$ : Temperatura efectiva de la capa asfáltica, en °C.

$T_a$ : Temperatura media del aire, en °C.

$h_s$ : Espesor de la capa asfáltica, en mm.

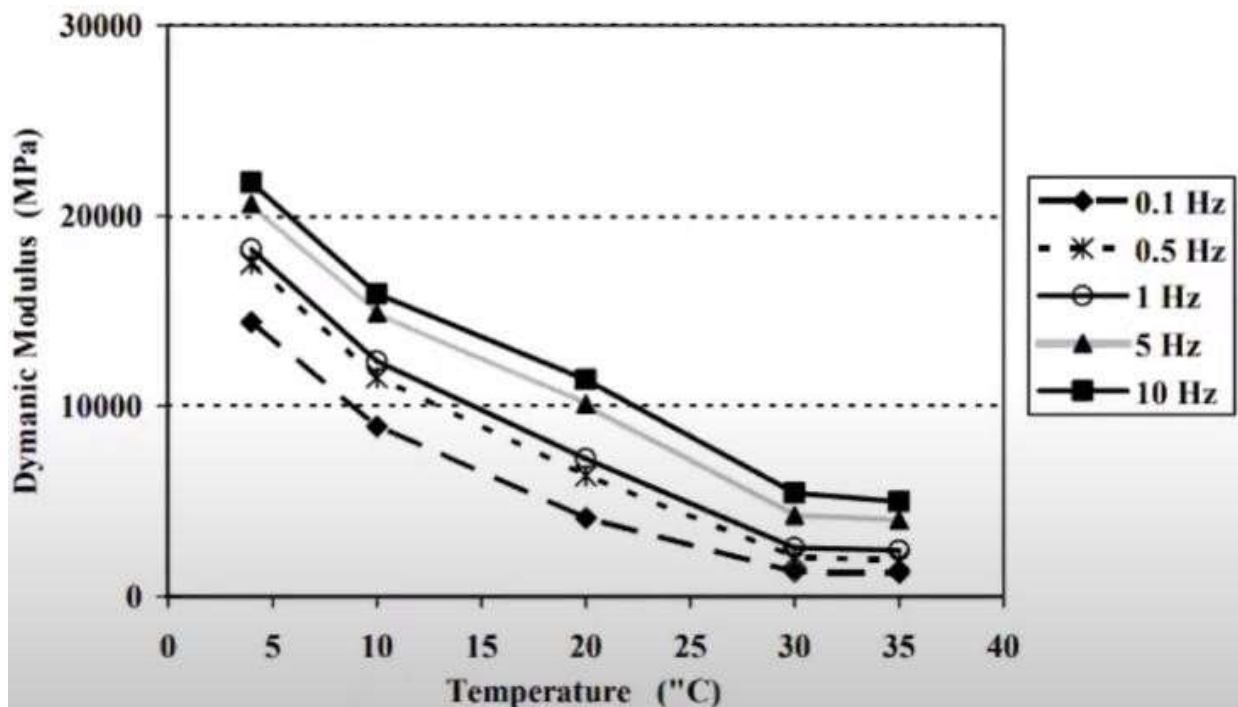
Para determinar los coeficientes estructurales de la capa asfáltica, la base y la subbase se emplean las siguientes gráficas establecidas por la guía de diseño de estructuras de pavimento AASHTO, teniendo en cuenta el módulo resiliente.

**a.** Coeficiente estructural de la capa asfáltica

A continuación, se presentan las relaciones que permiten obtener el número estructural para una capa asfáltica.

**Figura 1.**

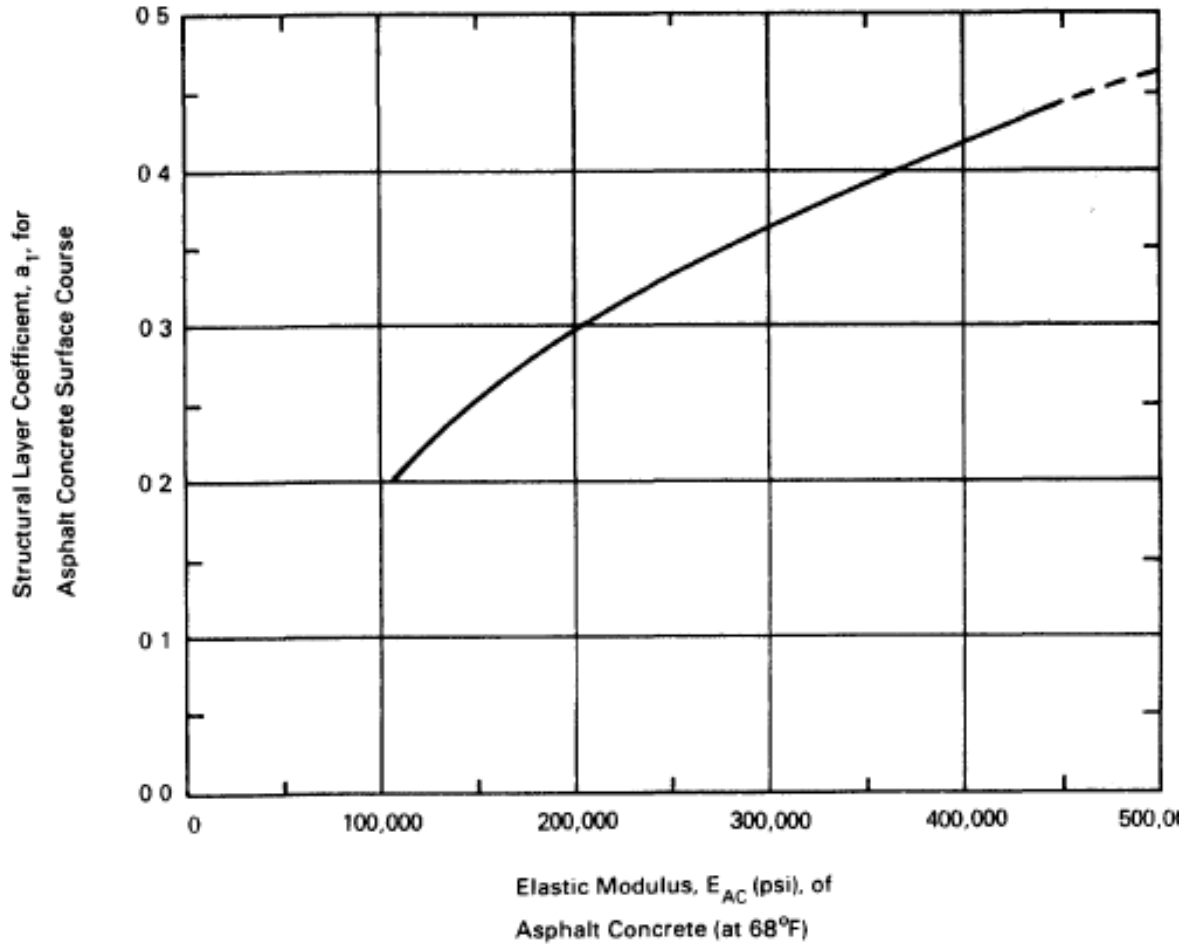
*Relación temperatura efectiva de la capa asfáltica vs Modulo resiliente*



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures

**Figura 2.**

*Gráfica para estimar el coeficiente estructural de la capa asfáltica basado en el módulo resiliente*



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures

El coeficiente estructural para la capa asfáltica también puede describirse mediante la ecuación 5.

$$a_1 = 0.184 \cdot \ln(Mr_1) - 1.9547(5)$$

Donde:

$a_1$ : Coeficiente estructural de la capa asfáltica.

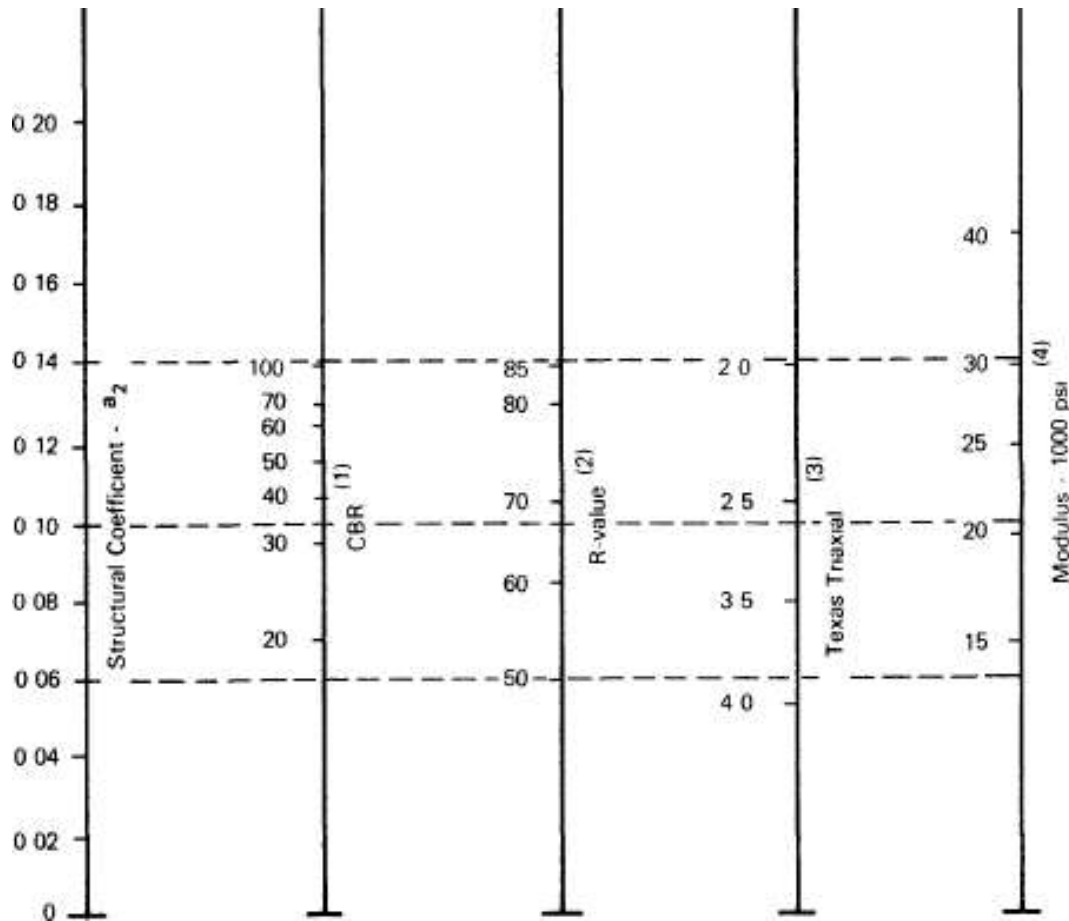
$Mr_1$ : Módulo resiliente de la capa asfáltica.

### b. Coeficiente estructural de la base

A continuación, se presentan las relaciones que permiten obtener el número estructural para la base del pavimento flexible de estudio.

**Figura 3.**

*Variación del coeficiente estructural de la base respecto a varios parámetros de la base del pavimento*



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures

El coeficiente estructural para la capa asfáltica también puede describirse mediante la ecuación 6.

$$a_2 = 0.249 \cdot \log(Mr_2) - 0.977 \quad (6)$$

Donde:

$a_2$ : Coeficiente estructural de la base.

$Mr_2$ : Módulo resiliente de la base.

**c.** Coeficiente estructural de la subbase

A continuación, se presentan las relaciones que permiten obtener el número estructural para la base del pavimento flexible de estudio.

El coeficiente estructural para la capa asfáltica también puede describirse mediante la ecuación 7.

$$a_3 = 0.227 \cdot \log(Mr_3) - 0.839 \quad (7)$$

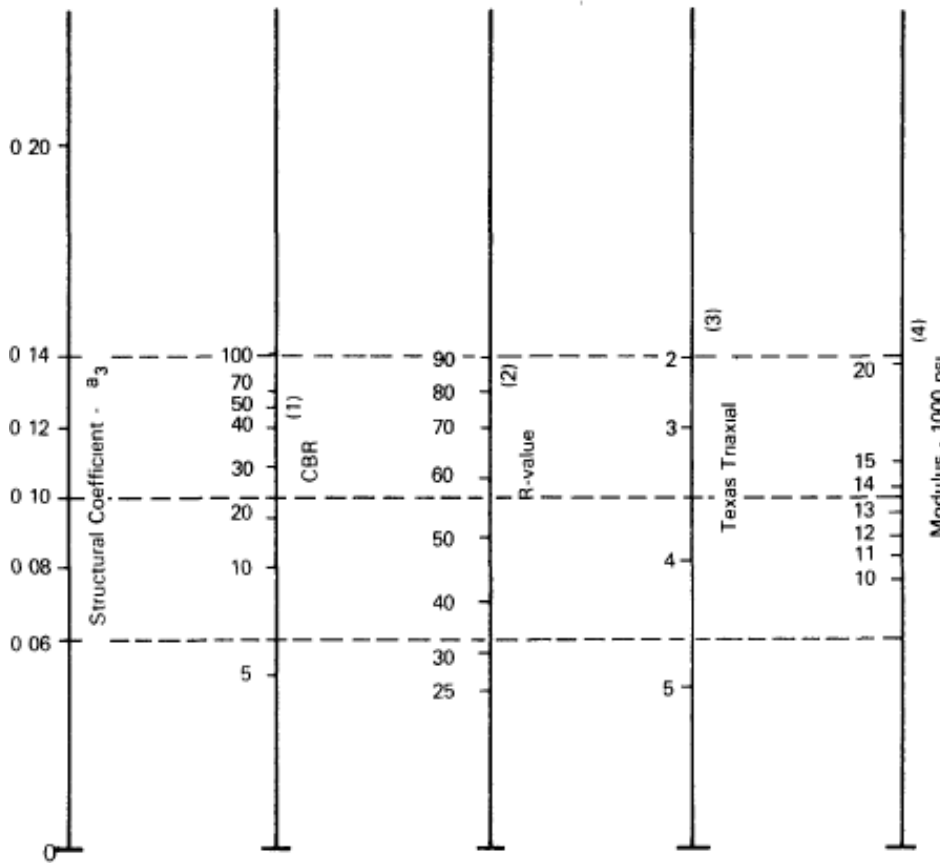
Donde:

$a_3$ : Coeficiente estructural de la subbase.

$Mr_3$ : Módulo resiliente de la subbase.

**Figura 4.**

*Variación del coeficiente estructural de la subbase respecto a varios parámetros de subbase del pavimento*



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures

- Calidad del drenaje

La calidad del drenaje es otro parámetro a tener en cuenta al dimensionar mediante el método AASHTO. Se debe evaluar la calidad del drenaje, para esto se emplean los coeficientes de drenaje, representado como  $m_1$ , para las capas de base y subbase granular.

Los valores se seleccionan con base en las características del material, la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo en el que la estructura de pavimento está expuesta a altos niveles de humedad. Para las bases estabilizadas, coeficiente de drenaje se asume como 1.0 por ser impermeable.

En la tabla 6 y tabla 7 se presentan el tiempo que tarda el agua en ser evacuada respecto a la calidad del drenaje y el porcentaje del tiempo que la estructura de pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación respecto a las características del drenaje, respectivamente.

**Tabla 6.**

*Calidad del drenaje de acuerdo al tiempo que tarde el agua en ser evacuada*

Calidad del drenaje	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy malo	El agua no evacúa

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures

**Tabla 7.**

*Valores del coeficiente de drenaje para corregir los coeficientes estructurales de bases y subbases granulares para pavimentos flexibles.*

Características del drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación			
	Menos del 1%	1 – 5%	5 – 25%	Más del 25%
<b>Excelente</b>	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
<b>Bueno</b>	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
<b>Regular</b>	1.25 - 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
<b>Pobre</b>	1.15 – 1.05	1.05 – 0.95	0.80 – 0.60	0.60
<b>Muy malo</b>	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures

En la tabla 7, el porcentaje de tiempo en el año para el cual la estructura va estar expuesta a grados de humedad próxima a la saturación se consigue mediante el parámetro, número de días con lluvia, y se puede obtener con la estación de análisis del proyecto dada por el instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM.

- **Espesores mínimos de la capa asfáltica y de la subbase granular.**

Teniendo en cuenta que el método AASHTO es método iterativo, se debe tener en cuenta unos espesores mínimos de acuerdo a la carga a la que estará sometida el pavimento dada en número de ejes equivalente. A continuación, en la Tabla 8, se muestran los espesores mínimos a tener en cuenta de acuerdo a las recomendaciones de la guía de diseño de estructuras de pavimento AASHTO.

**Tabla 8.**

*Espesores mínimos en pulgadas de la capa asfáltica y la base granular*

W18 (10 <sup>6</sup> )	Espesores mínimos en pulgadas	
	Capa asfáltica	Base granular
<0.05	-	4.0
0.05 – 0.15	2.0	4.0
0.15 – 0.50	2.5	4.0
0.50 – 2.00	3.0	6.0
2.00 – 7.00	3.5	6.0
>7.00	4.0	6.0

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures

Así mismo, se determinan los espesores de cada una de las capas del pavimento flexible de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$h_1 = \frac{SN_1}{a_1} \quad (8)$$

$$h_2 = \frac{SN_2 - SN_1^*}{a_2 + m_2} \quad (9)$$

$$h_3 = \frac{SN_3 - SN_2^*}{a_3 + m_3} \quad (10)$$

(

Donde:

$h_1$ : Espesor de la capa asfáltica.

$SN_1$ : Número estructural de la capa asfáltica.

$SN_1^*$ : Número estructural de la capa asfáltica, recalculado.

$a_1$ : Coeficiente estructural de la capa asfáltica

$h_2$ : Espesor de la base.

$SN_2$ : Número estructural de la base.

$SN_2^*$ : Número estructural de la base, recalculado.

$m_2$ : Coeficiente de drenaje de la base.

$h_3$ : Espesor de la subbase.

$SN_3$ : Número estructural de la subbase.

$m_3$ : Coeficiente de drenaje de la subbase.

Teniendo en cuenta cada uno de los factores o variables que resultaron de los ensayos realizados durante el AASHTO Road Test por la Asociación Americanade Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (o por sus siglas en inglés AASHTO, de American Association of State Highway and Transportation Officials), se obtuvo la siguiente ecuación (Ecuación 11) que permite realizar el dimensionamiento de cada una de las capas que conforman la estructura de pavimento.

$$\log(W) = Z_{18} + S_o + 9.36 \cdot \log(SN_i + 1) - 0.20 + \left[ \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{2-1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN_i + 1)^{5.19}}\right)} \right] + 2.32 \cdot \log(M) - 8.07 \quad (11)$$

$W_{18}$ : Número de aplicaciones de ejes equivalentes durante el periodo de diseño.  $Z_r$ : Parámetro estadístico asociado a la incertidumbre del índice de servicio.

$S_o$ : Desviación estándar total de la distribución normal de errores en variables de diseño.

$SN_i$ : Número estructural de la capa  $i$ .

$\Delta PSI$ : Diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial y final.

$M_r$ : Módulo resiliente, en psi, de la capa inferior al  $SN_i$  que se está calculado.

**Cuadro 1.****Resumen del Método AASHTO – 93**

Paso 1: Determinación de parámetros de confiabilidad.  
Paso 2: Cálculo del índice de servicio.  
Paso 3: Cálculo del módulo resiliente de la subrasante.  
Paso 4: Cálculo del módulo resiliente y coeficiente estructural de la base y la subbase.  
Paso 5: Cálculo del módulo resiliente de la capa asfáltica.  
Paso 6: Cálculo de los coeficientes de drenaje.  
Paso 7: Cálculo del número estructural requerido por la capa asfáltica.  
Paso 8. Cálculo del espesor de la capa asfáltica.  
Paso 9: Cálculo del número estructural requerido por la base granular.  
Paso 10: Cálculo del espesor de la base granular.  
Paso 11: Cálculo del número estructural requerido por la subbase granular.  
Paso 12: Cálculo del espesor de la subbase granular.

**3.3.2 Pavimentos Rígidos**

**3.3.2.1 Método AASHTO – 93** Al igual que para los pavimentos flexibles (o bituminosos) para establecer el procedimiento se deben tener en cuenta variables como confiabilidad, error nominal combinado, índice de serviciabilidad, número estructural, coeficiente de drenaje, entre otros. A continuación, se presentan cada una de las variables y consideraciones a tener en cuenta para el dimensionamiento de un pavimento rígido mediante la metodología AASHTO.

**3.3.2.2 Confiabilidad.** El nivel de confiabilidad, representado como  $R(\%)$ , se define al igual que lo descrito para el nivel de confiabilidad de un pavimento flexible. Para esto se emplea la Tabla 1 y Tabla 2, para estimar las variables  $R(\%)$  y  $Z_r$ , teniendo en cuenta las condiciones particulares requeridas para el diseño del pavimento, como la importancia de la vía.

**3.3.2.3 Error nominal combinado.** El error nominal combinado, representado como  $S_o$ , se define al igual que lo descrito para el error normal combinado de un pavimento flexible. Para un pavimento rígido, su valor se determina de acuerdo a la Tabla 4, donde para un pavimento rígido varía en 0.30 y 0.40.

**3.3.2.4 Índice de serviciabilidad.** El índice de serviciabilidad se define la igual a lo descrito anteriormente para el pavimento flexible. el índice de serviciabilidad representado como  $\Delta$ PSI, se define como el índice de serviciabilidad inicial menos el índice de serviciabilidad final, de acuerdo a la Ecuación 1.

Generalmente y de acuerdo a estudios experimentales llevados a cabo, para vía recién construidas de pavimento rígido se parte de un índice de serviciabilidad entre 4.0 y 4.2 (estado bueno de la vía) y se tiene un valor entre 2.0 y 3.0 para la falla funcional del pavimento. El espesor de la losa de concreto aumenta cuando se asume un  $\Delta$ PSI menos.

En la Tabla 9, se presentan los valores de serviciabilidad final teniendo en cuenta el tipo de vía.

**Tabla 9.**

*Valores de serviciabilidad final de acuerdo al tipo de vía.*

<b>Tipo de vía</b>	<b>Serviciabilidad final</b>
Autopista	3.00
Carreteras	2.50
Calles comerciales e industriales	2.25
Calles residenciales y parqueaderos	2.00

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures

- Tránsito

Se define como el número de ejes equivalentes de 80 kN que circulan en el carril y el periodo de diseño y debe calcularse para el nivel de confianza definido para el proyecto. El periodo de diseño para un pavimento rígido, el periodo de diseño no es menor de 20 años generalmente, el cual es mayor al estimado para un pavimento flexible.

- Subrasante

La subrasante, al igual que para un pavimento flexible, representa la resistencia natural del terreno donde se va a colocar la estructura del pavimento. Sin embargo, no se caracteriza a partir del módulo resiliente, sino, a partir del módulo de reacción, representado como K, de la subrasante, esto debido a la rigidez de losa de concreto y transferencia de esfuerzos hacia la subrasante.

El módulo de reacción, K, se define como la relación esfuerzo vs deformación resultado de aplicar una carga unitaria para desplazarse 5 mm.

Este parámetro se obtiene a partir del ensayo de placa, el cual consiste en colocar una placa rígida de 30 cm de diámetro en el suelo y aplicar una carga monótonica y medir el desplazamiento de la placa de concreto. Sin embargo, en caso de no ser posible realizar el ensayo de placa, es usual emplear las correlaciones de la Ecuación 12 y Ecuación 13.

$$K=2.55+52.5*\log(CBR);CBR \leq 10\% \quad (12)$$

$$K=46+9.08*[\log(CBR)]^{4.34};CBR \geq 10\% \quad (13)$$

Donde:

- K: Módulo de rigidez
- CBR: Relación de soporte de California (California Bearing Ratio)

En la tabla 8, se presentan los valores de K, para losas apoyadas sobre base granular no tratada y estabilizada.

**Tabla 10.**

**Valores de K para losas apoyadas sobre capa granular no tratada y base estabilizada con cemento**

K subrasante		Capa granular no tratada							
		10 cm		15 cm		22.5 cm		30 cm	
Mpa/ m	pci	Mpa/ m	pci	Mpa/ m	pci	Mpa/ m	pci	Mpa/ m	pci
<b>20</b>	73	23	85	26	96	32	117	38	<b>140</b>
<b>40</b>	147	45	165	49	180	57	210	66	<b>245</b>
<b>60</b>	220	64	235	66	245	76	280	90	<b>330</b>
<b>80</b>	295	87	320	90	330	100	370	117	<b>430</b>
K subrasante		Base estabilizada con cemento							
		10 cm		15 cm		22.5 cm		30 cm	
Mpa/ m	pci	Mpa/ m	pci	Mpa/ m	pci	Mpa/ m	pci	Mpa/ m	pci
<b>20</b>	73	60	220	80	300	105	400	135	<b>500</b>
<b>40</b>	147	100	370	130	500	185	680	230	<b>850</b>
<b>60</b>	<b>220</b>	<b>140</b>	<b>520</b>	<b>190</b>	<b>700</b>	<b>245</b>	<b>900</b>	-	-

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures

- Concreto

El concreto, que será la capa superior, de la estructura de un pavimento rígido, se debe caracterizar para esto se emplean dos parámetros mecánicos los cuales son Módulo de Elasticidad medido en MPa, representado como  $E_c$ , y el Módulo de Rotura medido en psi, medidos a los 18 días.

De acuerdo a las especificaciones del Instituto Nacional de Vías, INVIAS, se deben tener en cuenta los siguientes parámetros de referencia para cada nivel de tránsito, los cuales se muestran en la Tabla 10. Así mismo, en caso no ser posible realizar ensayos de laboratorio para determinar el módulo de elasticidad del concreto, existen correlaciones que permiten establecer este valor como se presenta en la Tabla 11.

**Tabla 11.**

*Resistencia a la flexo-tracción de acuerdo al nivel de tránsito de la vía*

Nivel de tránsito	Resistencia a la flexo tracción (Mpa)
NT1	3.8
NT2	4.0
NT3	4.2

Fuente: Especificaciones técnicas INVIAS

**Tabla 12.**

*Módulo de elasticidad de acuerdo al tipo de agregado y su origen*

Tipo de agregado y origen	Módulo de elasticidad ( $E_c$ )	
	En MPa	En $\text{kg/cm}^2$
Grueso – Ígneo	$5500\sqrt{f_c'}$	$17500\sqrt{f_c'}$
Grueso – Metamórfico	$4700\sqrt{f_c'}$	$15000\sqrt{f_c'}$
Grueso – Sedimentario	$3600\sqrt{f_c'}$	$11500\sqrt{f_c'}$
Sin información	$3900\sqrt{f_c'}$	$12500\sqrt{f_c'}$

Fuente: Especificaciones técnicas INVIAS

- Calidad del drenaje

Al igual que en los pavimentos flexibles (o bituminosos) se debe tener en cuenta la calidad del drenaje y las condiciones ambientales para los pavimentos rígidos. Sin embargo, en este caso se va tener unos valores de coeficiente de drenaje, representado como Cd, diferentes que para un pavimento flexible. Estos valores de referencia se muestran en la Tabla 13.

**Tabla 13.**

*Valores del coeficiente de drenaje para corregir los coeficientes estructurales de bases y subbases granulares para pavimentos rígidos.*

Características del drenaje	Porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento está expuesta a grados de humedad próxima a la saturación			
	Menos del 1%	1 – 5%	5 – 25%	Más del 25%
<b>Excelente</b>	1.25 – 1.20	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10
<b>Bueno</b>	1.20 – 1.15	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00
<b>Regular</b>	1.15 – 1.10	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90
<b>Pobre</b>	1.10 – 1.00	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80
<b>Muy malo</b>	1.00 – 0.90	0.90 – 0.80	0.80 – 0.70	0.70

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures

- Coeficiente de transferencia de carga

El coeficiente de transferencia de carga (J) es un parámetro adimensional que tiene en cuenta la capacidad que tiene los pasadores (barras de acero ubicadas en sentido longitudinal entre las losas de concreto) de transferir o distribuir las cargas en la zona más propensa a fallar.

**Tabla 14.**

*Coeficiente de transferencia de carga de acuerdo a su condición*

Condición	J
Junta con pasadores – Losa confinada	2.7
Junta con pasadores – Losa no confinada	3.2
Junta sin pasadores – Losa confinada	4.2
Junta sin pasadores – Losa no confinada	4.4

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures

- Espesor de la losa de concreto

Teniendo en cuenta las variables y parámetros presentados anteriormente y a partir de los ensayos realizados durante el AASHTO Road Test por la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (o por sus siglas en inglés AASHTO, de American Association of State Highway and Transportation Officials), se obtuvo la siguiente ecuación (Ecuación 12).

Dicha ecuación se resuelve mediante métodos numéricos. El espesor típico para la base granular y subbase y a su vez recomendado por el Instituto Nacional de Vías, INVIAS, es de 15 cm, debido a la rigidez de la losa de concreto propia del pavimento rígido.

$$\log \left( \frac{D}{18} \right) = Z \cdot S_r + 7.35 + \log(D+1) - 0.06 + \left[ \frac{\log \left( \frac{A_{\text{req}}}{4.2-1.5} \right) + (4.22 - 0.32 \cdot P_f) \cdot \log \left( \frac{MR \cdot C_d \cdot (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \cdot J \cdot \left( \frac{E_c}{K} \right)^{0.25}} \right)}{1 + \frac{(1.624 + 0.7)}{(D+1)^{0.46}} \right]} \quad (14)$$

Donde:

$D$ : Espesor de la losa de concreto, en pulgadas.

$P_f$ : Serviciabilidad final.

$MR$ : Módulo de rotura del concreto, en psi.

$C_d$ : Coeficiente de drenaje.

$J$ : Coeficiente de transferencia de carga.

$E_c$ : Módulo de elasticidad del concreto, en psi.

$K$ : Módulo de reacción de la subrasante, en pci.

- Losa de concreto

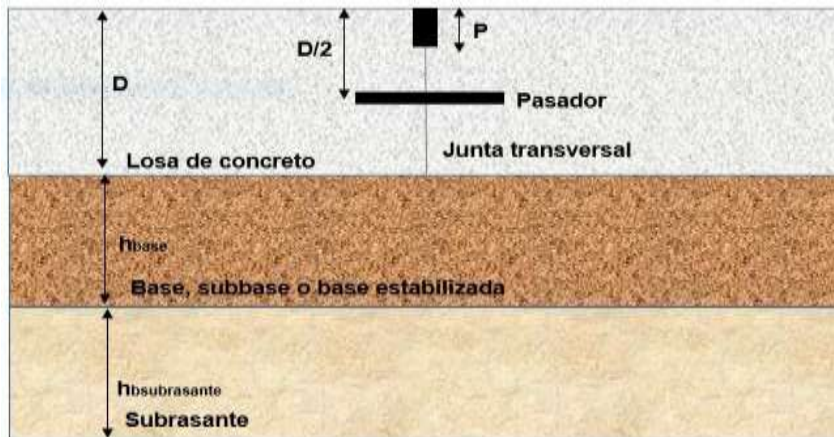
En el pavimento rígido debido a su rigidez se debe modular en una serie de losas de concreto donde cada una trabaje de forma individual, y haga parte de un conjunto y evitar así que la rigidez provoque fallas al no estar modulado.

En la Figura 5, se muestra el perfil longitudinal de un pavimento rígido, el cual está conformado por la losa de concreto, debajo de este, una base, subbase o base estabilizada y debajo de este, una capa subrasante.

En la losa de concreto, se muestra la junta transversal y un pasador o barra de transferencia que se ubica en el centro de la losa para ayudar a la transferencia de cargas entre las losas. La junta transversal debe sellarse con material impermeable e impida el paso de agua, aire, partícula y demás hacia el pavimento para así evitar un menor deterioro.

**Figura 5.**

*Perfil longitudinal de un pavimento rígido*



En la Figura 6, se muestra la vista en planta de un pavimento rígido, el cual, evidencia un conjunto de losas unidas por juntas transversales, juntas longitudinales con sus respectivos pasadores y anclajes. La longitud de la losa está dada para el valor mínimo de las relaciones de la Ecuaciones 15 a 17.

**Figura 6.**

*Vista en planta de un pavimento rígido.*



$$L_{m\acute{a}x} = 1.25 * b \quad (15)$$

$$L_{m\acute{a}x} = 25 * h \quad (16)$$

$$L_{m\acute{a}x} = 6 \text{ m} \quad (17)$$

Donde:

L: Longitud de la losa de concreto.

b: Ancho de la losa de concreto, dado por el diseño geométrico de la vía.

- Pasadores

Los pasadores son barras de acero ubicadas en las juntas transversales, para absorber los esfuerzos de las cargas vehiculares y se pueden no existir en caso de losas cortas y tráfico liviano. Las barras deben ser lisas con límite de fluencia mínimo de 280 MPa para evitar su adherencia con el concreto.

En la Tabla 16, se define el diámetro del pasador, la longitud del pasador y la separación entre barras de acuerdo al espesor de losa de concreto contemplado.

**Tabla 15.**

*Diámetro y longitud del pasador y separación entre barras de acuerdo al espesor de la losa de concreto*

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

Fuente: Especificaciones INVIAS

- Barras de anclaje

Las barras de anclaje son barras de acero ubicadas en las juntas longitudinales para evitar el desplazamiento lateral de las losas. Estas barras de acero deben ser preferiblemente corrugadas con un límite de fluencia mínimo de 280 Mpa.

**Tabla 16.****Separación de las barras de anclaje dependiendo del espesor de la losa.**

Acero de $f_y = 280$ MPa												
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: Especificaciones INVIAS

**Cuadro 2.****Resumen del Método AASHTO – 93 para pavimento rígido.**

- Paso 1: Determinación de parámetros de confiabilidad. Paso
- 2: Cálculo del índice de servicio.
- Paso 3: Cálculo del módulo de reacción de la subrasante.
- Paso 4: Cálculo del módulo de reacción combinado (si se requiere). Paso
- 5: Cálculo del módulo de rotura del concreto.
- Paso 6: Cálculo del coeficiente de transferencia de carga. Paso 7:
- Cálculo del coeficiente de drenaje.
- Paso 8. Cálculo del espesor de la losa (con base granular – si se requiere).
- Paso 9: Cálculo del espesor de la losa (con base estabilizada con cemento – si se requiere).
- Paso 10: Modulación de las losas de concreto. Paso 11:
- Diseño de barras de anclaje.

### 3.4 Tutoriales como herramienta de educación

El avance de la tecnología ha traído una revolución en todos los campos de la sociedad, y en la manera en la cual son desarrolladas la mayoría de las actividades de la cotidianidad. Un

ejemplo de esta situación se encuentra en el sector educativo, en el cual hace un tiempo los estudiantes realizaban sus consultas únicamente en bibliotecas, donde la mayoría de la información se encontraba de manera restringida y limitada.

La revolución generada por el internet y el acceso a fibra óptica desde cualquier lugar del mundo, ha cambiado radicalmente la forma en la que las personas acceden a cualquier tipo de información. La transición de sistemas computacionales de gran tamaño y difícil acceso a mecanismos de información y comunicación que pueden ser llevados por cualquier tipo de persona, rompió radicalmente las barreras de acceso generadas en la información.

Las plataformas de acceso libre, que usan herramientas como los videos tutoriales para instruir algún tipo de metodología, se han vuelto un mecanismo de aprendizaje que es consultado diariamente por miles de personas a nivel global. Este tipo de herramientas ha permitido a personas de cualquier edad, consultar temas muy específicos o simplemente solucionar dudas en su cotidianidad (Gonzales, 2018).

La aparición del coronavirus en el año 2020, ha incrementado el uso de este tipo de herramientas a raíz del impedimento por parte de los estudiantes de asistir a sus clases de manera presencial. Los videos tutoriales y recibir clases de manera remota ha sido la constante desde el inicio de la pandemia. Múltiples estudios pretenden evaluar el impacto de este tipo de educación en la formación de estudiantes de todos los grados de escolaridad. (Suarez, 2016)

### **3.4.1 El video educativo**

El video educativo presenta un material de tipo audiovisual con un alcance para procesos de enseñanza y aprendizaje de cualquier tema. En este concepto entran tanto el video didáctico, como aquellos videos que, a pesar de no abarcar temas propiamente educativos, presentan un contenido de interés para el usuario. Utilizar de manera adecuada esta herramienta como recurso de aprendizaje, proporciona diversas alternativas que favorecen los procesos cognitivos y de percepción antes y durante el proceso de aprendizaje.

La herramienta tecnológica del video a raíz de su naturaleza recoge aspectos de gran valor dentro del proceso de aprendizaje de los alumnos. El enfoque dado puede pasar como aprendizaje individual, capacitación, educación a distancia o simplemente dar a conocer un tema para el público en general. En el universo del aprendizaje la posibilidad de interactuar

directamente con un concepto permitiendo al alumno o profesor la posibilidad de congelar, adelantar, retroceder o repetir una imagen permite a cualquier tipo de persona la comprensión y retención de los conceptos descritos de manera audiovisual.

Una de las ventajas encontradas en los medios digitales, es la potestad que presentan las personas de repetir cuantas veces consideren necesario una metodología o concepto explicado aprovechando las imágenes, sonidos o videos transmitidos. (Utilización didáctica del video, 2001)

Un video debe emplear las herramientas y metodologías necesarias para generar expectativa en los estudiantes sobre los temas tratados; a su vez durante y terminado el tema tratado estimula la participación e investigación de lo hablado.

Emplear un video como instrumento de aprendizaje grupal o individual demanda que se realice una lectura y búsqueda previa en referente al tema tratado, con el finde facilitar el seguimiento de la metodología y mecánica por parte del estudiante. A su vez estar previamente familiarizado con el tema permite tener especial atención en los aspectos de profundización del tema que se quieren abordar.

El éxito del material audiovisual entregado, exige que durante su fase de planeación se cuestionen parámetros que orienten su alcance y estructura. (Herreros, 1998)

### **Tabla 17.**

#### ***Estructura de un video educativo***

Objetivos del video	A qué población se dirige Cuáles herramientas dan claridad a lo explicado Qué naturaleza presenta el video Emplea características acordes a la población objetivo
Contenido	Establecer el lenguaje utilizado Definir aspectos como la cantidad de veces, la forma y las condiciones de lo expuesto. Ofrece transversalidad Qué relación existe entre los contenidos explicados Que competencias transmite el video Se abarca uno o múltiples conceptos Se debe tener un concepto previo para poder verlo Rompe esquemas tradicionales de pedagogía.
Evaluación	Que se espera transmitir con el video Se piensa en algún modelo para evaluar su impacto

Fuente: El video educativo-Sociedad de pedagogía

**3.4.1.1 Tipos de videos educativos.** Los videos educativos se pueden seccionar bajo la siguiente clasificación:

**Documental:** Se caracteriza por mostrar de forma ordenada la información respecto a un tema específico

**Narrativo:** Presenta un tema de forma narrativa. La descripción de la información se caracteriza por ser realizada de manera ordenada

**Mono conceptual:** Este tipo de video presenta una duración limitada el cual tiene como objetivo explicar un determinado concepto.

**Temático:** A través de medios didácticos presenta un tema con profundidad orientada a la población objetivo del video.

**Motivador:** Como objetivo primordial genera impacto y sentimientos de motivación a los espectadores, contando vivencias de manera narrativa.

### 3.5 Diseño de pavimentos a través de software

Los conceptos presentados son un insumo imprescindible a la hora de llevar a cabo un diseño para un pavimento vial. Durante el pregrado, la formación de los ingenieros exige que comprendan la naturaleza de la teoría y cálculos requeridos para llevar a cabo el diseño de un pavimento vial.

El mercado ofrece una gran cantidad de software que haciendo uso del avance de la tecnología llevan a cabo diseños de pavimentos viales. El manejo de herramientas tecnológicas puestas en función de la ingeniería, desarrolla en los profesionales competencias diferenciales que permiten optimizar los procesos y reducir el margen de error ocasionado al realizar cálculos en forma manual.

En el desarrollo de las actividades de diseño relacionadas con la investigación en el campo de la ingeniería de pavimentos, se ha generado la necesidad de optimizar las metodologías trabajadas. Con el paso de los años el uso de herramientas especializadas de tipo tecnológico, se convirtieron en una tendencia para mejorar los procesos, permitiendo optimizar los procedimientos y recursos disponibles. El desarrollo de un software se encuentra orientado a proveer al usuario de una herramienta de formación pedagógica en la obtención de los espesores de las capas en pavimentos rígidos y flexibles. (Tomas, 2018)

El mercado ofrece software de diseño de pavimento rígido o flexible adaptado a la metodología seleccionada por parte de su desarrollador. Con el fin de conservar el alcance y los objetivos del presente estudio, (el mercado ofrece software pagos, pero el objeto de estudio son los software de uso libre disponibles en el mercado), a continuación se presentan algunos de los software que ofrece actualmente el mercado:

### **PCA: SOFTWARE GRATUITO PARA DISEÑAR PAVIMENTOS EN CONCRETO**

El método PCA (Portland Cement Association) estableció un método de diseño para pavimentos de concreto en el año de 1984. Basando lo establecido en esta metodología fue creado el software PCAPAV con el fin de solucionar de manera eficaz problemas generados durante el diseño de pavimentos. Inicialmente el software fue desarrollado en el sistema operativo denominado DOS, por lo tanto, no era compatible en el sistema operativo de Windows. El software fue actualizado y se solucionó esta problemática; en la actualización se presentaron mejoras en la inclusión de todas las variables del diseño, cálculos de fatiga, erosión que permiten evaluar múltiples alternativas en el diseño y presentar un análisis gráfico de las variación de los parámetros presentados (Mesa, 1984)

### **DEPAV: SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO ASFALTICO**

Este programa se desarrolló por un grupo de ingenieros de INPACO (Investigación Nacional de Pavimentos de Colombia) de la Universidad del Cauca en el año de 1993. Depav sirve como un software de apoyo en el diseño y análisis de pavimentos, que define la estructura y propiedades de las capas de pavimento analizando la carga aplicada.

El software realiza los cálculos para determinar las deformaciones máximas y los esfuerzos que se generan las ruedas sobre la superficie. (Varela, 2016)

Sumado a los software presentados, se realizó una búsqueda con el fin de evaluar los programas que mejor se adaptaran al objeto de estudio. En términos de manejo, presentación, interfaz y facilidad de descarga en cualquier equipo, se seleccionaron los software de **PAVIMR** y **AASHTO** para el diseño de pavimentos rígidos y flexibles, con el fin de estudiar su manejo a profundidad y presentarle a los estudiantes de la facultad una metodología para su correcto uso.

## 4. Metodología de trabajo en software de uso libre

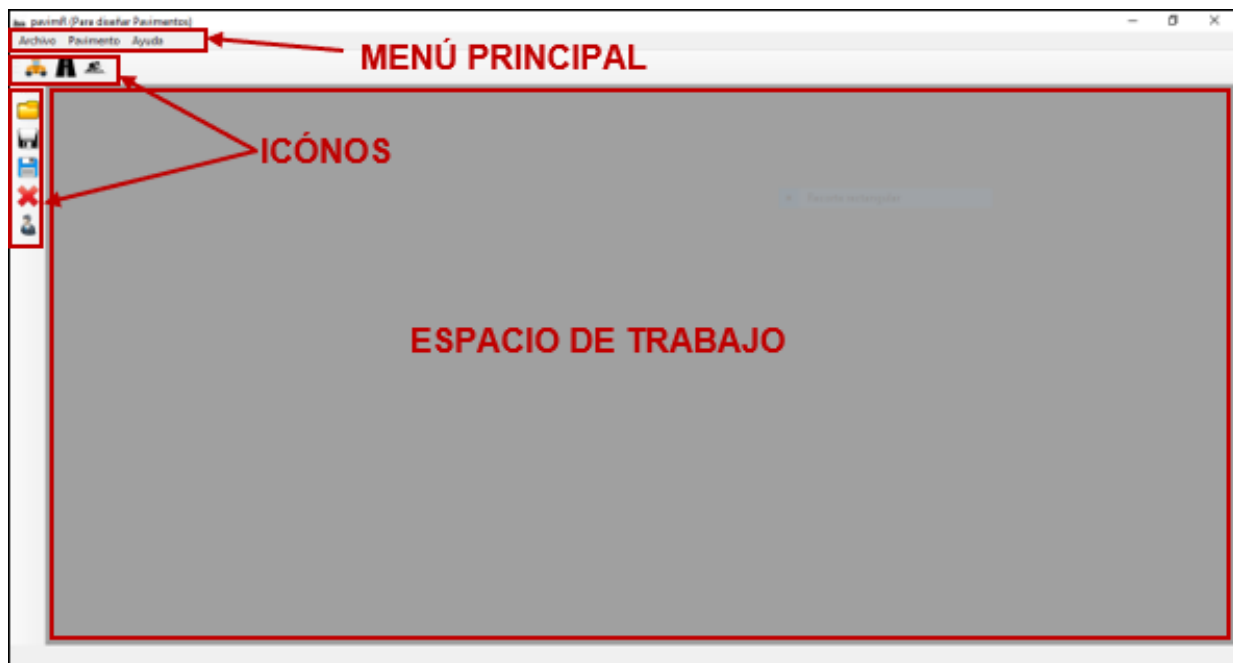
### 4.1 Software Pavimr

#### 4.1.1 Interfaz de Pavimr

La interfaz de PavimR cuenta un menú principal (que contiene los siguientes elementos: Archivo, Pavimento y Ayuda, adicionalmente contiene dos barras con iconos y un espacio de trabajo que permiten el desarrollo del software para el dimensionamiento de pavimento flexible y rígido.

#### Figura 7.

*Descripción general interfaz software PavimR*



En el menú desplegable archivo se encuentran las opciones: Abrir, guardar, guardar como y salir. Los cuales a su vez están representados por los siguientes íconos en la parte derecha de la interfaz:



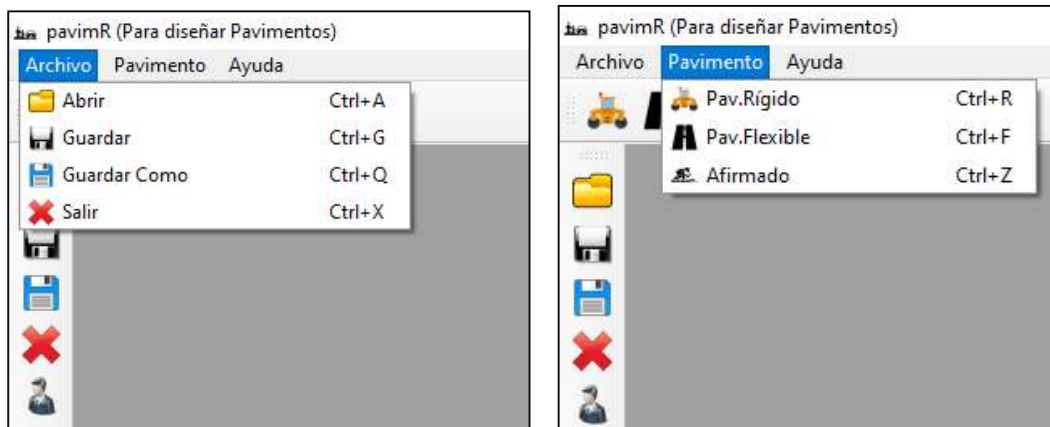
En el menú desplegable pavimento se encuentran las opciones: Pavimento rígido, pavimento flexible y afirmado. Los cuales a su vez están representados por los siguientes íconos en la parte superior de la interfaz:



En la siguiente figura se muestran los menús desplegables para archivo y pavimento con el respectivo nombre de la herramienta

**Figura 8.**

***Menús desplegables del software PavimR***



## Pavimento Rígido

En la opción de pavimento rígido se abre la ventana denominada “Diseño de Pavimento Rígido”, esta opción se divide en 6 subgrupos los cuales son:

- Serviciabilidad Inicial y Final
- Confiabilidad [Zr] y Desviación Estándar [So]
- Información Adicional
- Seleccionar dato que tiene
- Módulo de Reacción de la subrasante
- Resultado

En la Figura 9, se muestra la ventana “Diseño de Pavimento Rígido”.

**Figura 9.**

***Ventana Diseño de Pavimento Rígido del software PavimR***

Diseño de Pavimento Rígido

Ecuación AASHTO 93

Serviciabilidad Inicial y Final

PSI Inicial:

PSI Final:

Confiabilidad [Zr] y Desviación Estándar [So]

Zr:  +

So:

Información Adicional

Módulo de Elasticidad del Concreto Ec [psi]:

Coeficiente de Transmisión de Carga [J]:

Módulo de Rotura de Concreto Sc [psi]:

Coeficiente de Drenaje [Cd]:

Seleccionar dato que tiene

Espesor D  Eje W18

W18:

Módulo de Reacción de la Subrasante

K:  pci

Resultado

D:  plg

pci = Libras /pulgadas<sup>3</sup> [lb/plg<sup>3</sup>]  
psi = Libras /pulgadas<sup>2</sup> [lb/plg<sup>2</sup>]  
plg = Pulgadas

-----

Calcular Insertar Limpiar

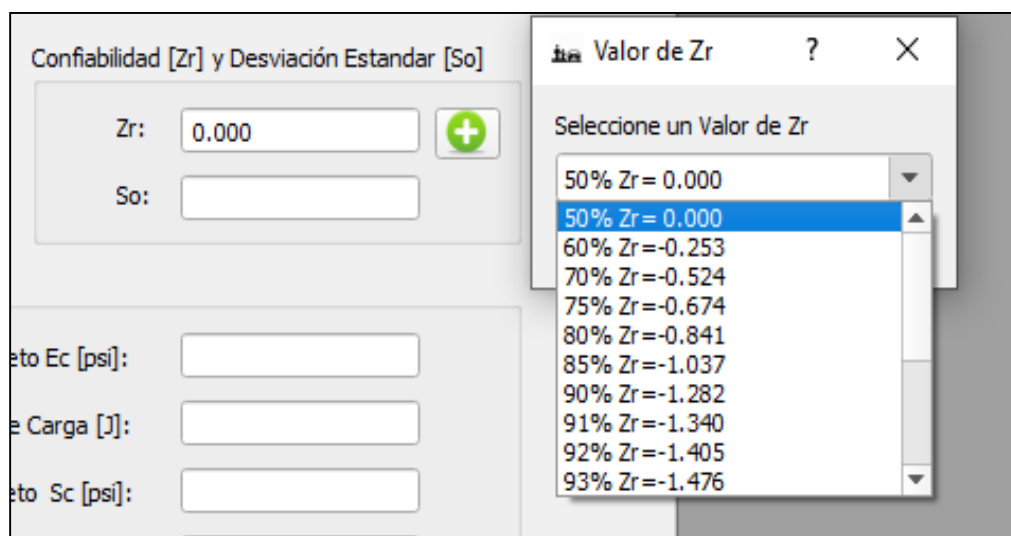
La serviciabilidad inicial (PSI Inicial) y la serviciabilidad final (PSI Final) son datos que el usuario debe ingresar y su valor está dado de acuerdo a la descripción dada para el índice de serviciabilidad del método AASHTO-93 del presente documento para pavimento rígido.

La confiabilidad ( $Z_r$ ) y Desviación Estándar o Error nominal combinado ( $S_o$ ), así como la serviciabilidad inicial y final, son datos que el usuario debe ingresar y sus valores están dados de acuerdo a la descripción de confiabilidad y Error nominal combinado del método AASHTO-93 del presente documento para pavimento rígido.

Adicionalmente, el software PavimR, permite seleccionar el valor de  $Z_r$  de acuerdo a los valores dados en las Tablas 1 y 2 dadas previamente. En la Figura 10 se muestra la lista desplegable para seleccionar el valor de  $Z_r$  según el caso de estudio.

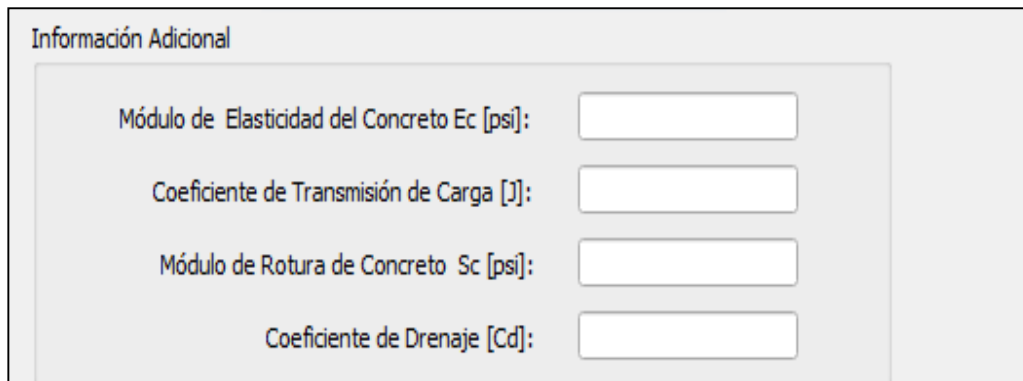
**Figura 10.**

*Selección de valor de  $Z_r$  del software PavimR.*



En el subgrupo "Información Adicional", se deben ingresar los siguientes valores (Ver Figura 11):

- Módulo de Elasticidad del Concreto  $E_c$  [psi]
- Coeficiente de Transmisión de Carga [ $J$ ]
- Módulo de Rotura de Concreto  $S_c$  [psi]
- Coeficiente de Drenaje [ $C_d$ ]

**Figura 11.*****Información adicional del software PavimR.***

Información Adicional

Módulo de Elasticidad del Concreto  $E_c$  [psi]:

Coeficiente de Transmisión de Carga [J]:

Módulo de Rotura de Concreto  $S_c$  [psi]:

Coeficiente de Drenaje [Cd]:

Para establecer los parámetros adicionales requeridos por el software PavimR, se es necesario a la información teórica establecida previamente, en el cual se describió el procedimiento para realizar el dimensionamiento de pavimento rígido mediante el método AASHTO-93. Finalmente, se deben ingresar (Ver Figura 12) dos datos el Módulo de Reacción de la Subrasante en [pci] y el dato con que se cuenta, el cual, puede ser: el espesor en pulgadas o el Eje W18.

**Figura 12.*****Datos finales a ingresar en el Software PavimR.***

Seleccionar dato que tiene

Espesor D     Eje W18


D:  plg

Módulo de Reacción de la Subrasante

K:  pci

Una vez ingresada la información solicitada para realizar el dimensionamiento del pavimento rígido, resultado posible que se puede obtener mediante este software puede ser: Espesor en pulgadas o Eje W18 y se muestra en el espacio señalado en la Figura 13.

**Figura 13.****Resultado obtenido con el Software PavimR.**
**Pavimento Flexible**

En la opción  de pavimento rígido se abre la ventana denominada “Diseño de Pavimento Flexible”, esta opción se dividen en 5 subgrupos los cuales son:

- Serviciabilidad Inicial y Final
- Confiabilidad [Zr] y Desviación Estándar [So]
- Seleccionar dato que tiene
- Módulo de Reacción de la subrasante
- Resultado

En la Figura 14, se muestra la ventana “Diseño de Pavimento Rígido”.

Figura 14.

**Ventana Diseño de Pavimento Flexible del software PavimR**

Diseño de Pavimento Flexible

Ecuaón AASHTO 93

Serviciabilidad Inicial y Final

PSI Inicial: 4

PSI Final: 2

Confiabilidad [Zr] y Desviación Estandar [So]

Zr: -1.645

So: 0.35

Seleccionar dato que tiene

Espesor D  Eje W18

W18: 5000000

Módulo de Reacción de la Subrasante

K: 5000 pci

Resultado

D: plg

pci = Libras /pulgadas<sup>3</sup> [lb/plg<sup>3</sup>]  
psi = Libras /pulgadas<sup>2</sup> [lb/plg<sup>2</sup>]  
plg = Pulgadas

=====  
Calcular Insertar Limpiar

Así como para el cálculo de pavimento rígido, para el pavimento flexible la serviciabilidad inicial (PSI Inicial) y la serviciabilidad final (PSI Final) son datos que el usuario debe ingresar y su valor está dado de acuerdo a la descripción dada para el índice de serviciabilidad del método AASHTO-93 del presente documento para pavimento rígido. Asimismo, La confiabilidad (Zr) y Desviación Estándar o Error nominal combinado (So), así como la serviciabilidad inicial y final, son datos que el usuario debe ingresar y sus valores están dados de acuerdo a la descripción de confiabilidad y Error nominal combinado del método AASHTO-93 del presente documento para pavimento rígido.

Adicionalmente, el software PavimR, permite seleccionar el valor de Zr de acuerdo a los valores dados en las Tablas 1 y 2 dadas previamente. En la Figura 10 se muestra la lista desplegable para seleccionar el valor de Zr según el caso de estudio.

Finalmente, se deben ingresar dos datos: el Módulo de Reacción de la Subrasante en [pci] y el dato con que se cuenta, el cual, puede ser: el espesor en pulgadas o el Eje W18.

Una vez ingresada la información solicitada para realizar el dimensionamiento del pavimento flexible, resultado posible que se puede obtener mediante este software puede ser: Espesor en pulgadas o Eje W18 y se muestra en el espacio señalado en la Figura 15.

**Figura 15.**

*Resultado obtenido con el Software PavimR para pavimento flexible*

**Diseño de Pavimento Flexible**

Ecuación AASHTO 93

Serviciabilidad Inicial y Final

PSI Inicial: 4

PSI Final: 2

Confiability [Zr] y Desviación Estandar [So]

Zr: -1.645

So: 0.35

Seleccionar dato que tiene

Espesor D  Eje W18

W18: 5000000

Módulo de Reacción de la Subrasante

K: 5000 pci

Resultado

D: [ ] plg

pci = Libras /pulgadas<sup>3</sup> [lb/plg<sup>3</sup>]  
psi = Libras /pulgadas<sup>2</sup> [lb/plg<sup>2</sup>]  
plg = Pulgadas

-----

Calcular Insertar Limpiar

## 4.2 Software método Aashto para el diseño de pavimentos (1993)

### 4.2.1 Interfaz del software método Aashto para el diseño de pavimentos (1993)

La interfaz del software “Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)” con dos menús de acuerdo al tipo de pavimento que se requiera dimensionar. En la Figura 16, se muestra la una vista de general de la interfaz para realizar el dimensionamiento de un pavimento flexible mediante el método AASHTO-93.

Figura 16.

Vista general interfaz software "Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)" para pavimento flexible.

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  
 Flexible  
 Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So):  
 Confiabilidad (R) [dropdown] Ayuda  
 So [0.49]

Serviciabilidades inicial y final:  
 PSI inicial [4.2] Ayuda  
 PSI final [ ]

Tránsito de diseño:  
 W18 [ ]

Pavimento flexible

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coefficiente de capa (ai)	Coefficiente de drenaje (mi)	SN necesario	Espesor D (plg.)	Espesor D* (plg.)	SN* dispuesto
1	[ ]	[¿E/a?] [ ]	[ ]	[¿m?] [ ]	[ ]	[ ]	[ ]
2	[ ]	[¿E/a?] [ ]	[ ]	[¿m?] [ ]	[ ]	[ ]	[ ]
3	[ ]	[¿E/a?] [ ]	[ ]	[¿m?] [ ]	[ ]	[ ]	[ ]
4	[ ]	MR [ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

Botones: Diseñar, Ver informe

W18 real [ ]

Cálculo de W18 para un SN  
 SN [ ] W18 [ ]

Quitar el control de variables Salir

En la Figura 17, se muestra la una vista de general de la interfaz para realizar el dimensionamiento de un pavimento flexible mediante el método AASHTO-93.

Figura 17.

Vista general interfaz software "Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)" para pavimento rígido.

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  
 Flexible  
 Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So):  
 Confiabilidad (R) [dropdown] Ayuda  
 So [0.33]

Serviciabilidades inicial y final:  
 PSI inicial [4.5] Ayuda  
 PSI final [ ]

Tránsito de diseño:  
 W18 [ ]

Pavimento rígido

Módulo de reacción de la subbase - k (psi/in) [ ] Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto - E<sub>c</sub> (psi) [ ] [¿E<sub>c</sub>?]

Módulo de rotura del concreto - f<sub>c</sub> (psi) [ ]

Coefficiente de transmisión de carga - J [ ]

Coefficiente de drenaje - C<sub>d</sub> [ ]

Espesor de losa D (plg.) [ ]

D redondeado (plg.) [ ]

W18 real [ ]

Cálculo de W18 para un D (plg.)  
 D [ ] W18 [ ]

Quitar el control de variables Salir

## Pavimento Rígido

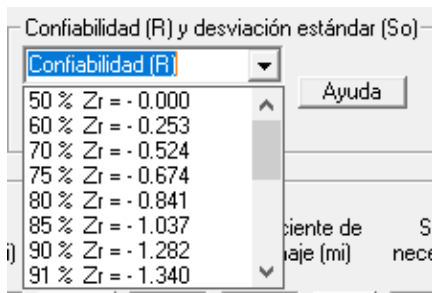
En la opción de pavimento rígido, se modifica la vista de acuerdo a la presentada en la Figura 17, está opción se dividen en 5 subgrupos los cuales son:

- Confiabilidad (R) y desviación estándar (So)
- Serviciabilidad inicial y final
- Tránsito de diseño
- Pavimento rígido
- Cálculo de W18 para un D (plg)

La confiabilidad (R) se selecciona de la lista desplegable, así como lo muestra la Figura 18.

### Figura 18.

#### *Lista desplegable para ingresar la confiabilidad (R).*



En el botón de *ayuda* del subgrupo Confiabilidad (R) y desviación estándar (So), permite visualizar los valores de confiabilidad sugerida (R%) de acuerdo a la clasificación funcional de la vía y los valores de desviación estándar (So) teniendo en cuenta el caso de análisis y el tipo de pavimento el cual puede ser flexible o rígido. En la figura 18, se muestra la ventana *ayuda*, al haber seleccionado el valor de So que se requiere y dar en la opción copiar estructura, este valor aparecerá automáticamente en el espacio correspondiente del software.

**Figura 19.**

*Ventana de la opción ayuda para selección la confiabilidad y la desviación estándar.*

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

Caso de análisis	Desviación estándar total (So)	
	Pavimento flexible	Pavimento rígido
Rango	0.40 – 0.50	0.30 – 0.40
Considerando la varianza del tránsito futuro	0.49 <input type="checkbox"/>	0.39 <input type="checkbox"/>
Sin considerar la varianza del tránsito futuro	0.44 <input type="checkbox"/>	0.34 <input type="checkbox"/>

Copiar en la estructura       Cancelar

La serviciabilidad inicial (PSI Inicial) y la serviciabilidad final (PSI Final) son datos que el usuario debe ingresar y su valor está dado de acuerdo a la descripción dada para el índice de serviciabilidad del método AASHTO-93 del presente documento para pavimento rígido.

Como soporte a esta teoría cuenta con el botón de *ayuda*, el cual muestra la ecuación de la serviciabilidad de diseño descrita previamente y los posibles índices de serviciabilidad inicial y final tanto para pavimento flexible como para pavimento rígido esto a su vez teniendo en cuenta el tipo de carretera para el cual se esté realizando el diseño. En la Figura 20, se muestra la ventana *ayuda* para asignar la Serviciabilidad de diseño en el software.

**Figura 20.**

*Ventana de la opción ayuda para seleccionar la serviciabilidad de diseño.*

Serviciabilidad de diseño				
$\Delta PSI = PSI_{inicial} - PSI_{final}$				Copiar en la estructura <input type="button"/>
				Cancelar <input type="button"/>
Tipo de carretera	Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)			
	Pavimento flexible		Pavimento rígido	
	PSI INICIAL	PSI FINAL	PSI INICIAL	PSI FINAL
Carreteras principales		2.5	2.5	<input type="checkbox"/>
Carreteras secundarias	4.2	2.0	4.5	2.0 <input type="checkbox"/>
Condición de falla		1.5	1.5	<input type="checkbox"/>

El tránsito de diseño se debe ingresar como número de ejes equivalentes en el espacio que muestra la Figura 21.

**Figura 21.**

***Espacio para ingresar el tránsito de diseño***

A small rectangular window with a title bar that says "Tránsito de diseño". Inside the window, there is a text input field containing the text "w18".

Como características propias y de su cálculo mediante AASHTO-93 para el pavimento rígido se deben ingresar en el software las siguientes variables:

- Módulo de reacción de la subrasante –  $k$  (psi/in)
- Módulo de elasticidad del concreto –  $E_c$  (psi)
- Módulo de rotura del concreto –  $S_c$  (psi)
- Coeficiente de transmisión de carga –  $J$
- Coeficiente de drenaje –  $C_d$

En la Figura 22, se muestra las variables para diseño de pavimento rígido que se deben ingresar. Adicionalmente, este software cuenta con tres opciones que permiten ingresar estos valores teniendo en cuenta la teoría de este método.

**Figura 22.**

***Variables del pavimento rígido.***

A screenshot of a software application window titled "Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vázquez". The window contains several input fields and buttons for configuring pavement design parameters. At the top, it says "Desarrollado por: Luis Ricardo Vázquez Varela, Ingeniero Civil, Monzónes, 2006." Below this, there are sections for "Tipo de pavimento" (Flexible or Rígido), "Confiabilidad (R) y desviación estándar (So)", "Serviciabilidades inicial y final", and "Tránsito de diseño". The "Rígido" option is selected. There are fields for "PSI inicial" (4.5) and "PSI final". A "Diseño" button is visible. The "Pavimento rígido" section includes fields for "Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in)", "Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi)", "Módulo de rotura del concreto - Sc (psi)", "Coeficiente de transmisión de carga - J", and "Coeficiente de drenaje - Cd". There are also fields for "Espesor de losa D (pulg)", "D redondeado (pulg)", and "W18 real". A "Cálculo de W18 para un D (pulg)" button is present. At the bottom, there is a "Salir" button and a checkbox for "Quitar el control de variables".

El primero es la opción *¿Ec/Sc?*, este permite calcular ingresar las propiedades del concreto de cemento portland. El segundo es la opción *J*, la cual permite seleccionar el coeficiente de transmisión de carga teniendo en cuenta los dispositivos de transmisión de carga y el tipo de berma (Ver Figura 23).

**Figura 23.**

*Selección de coeficiente de transferencia de carga (J).*

Coefficiente de transferencia de carga (J)

Berma	Asfáltica		Anclada y de concreto de cemento Pórtland	
	Sí	No	Sí	No
Dispositivos de transmisión de carga				
Pavimento con juntas Concreto simple o concreto reforzado	3.2 <input type="checkbox"/>	3.8 – 4.4 <input type="checkbox"/>	2.5 – 3.1 <input type="checkbox"/>	3.6 – 4.2 <input type="checkbox"/>
Pavimento de concreto continuamente reforzado	2.9 – 3.2 <input type="checkbox"/>	N/A	2.3 – 2.9 <input type="checkbox"/>	N/A

Por último, la opción *Cd*, la cual permite selección el coeficiente de drenaje teniendo en cuenta la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a humedades cercanas a la saturación (Ver Figura 24).

**Figura 24.**

*Selección del coeficiente de drenaje (Cd).*

Coefficiente de drenaje (Cd)

Calidad del drenaje	El agua libre se remueve en...
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Aceptable	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	El agua no drenará

Calidad   
Coeficiente (Cd)

Calidad del drenaje	% del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a humedades cercanas a la saturación			
	Menos del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más del 25%
Excelente	1.25 – 1.20 <input type="checkbox"/>	1.20 – 1.15 <input type="checkbox"/>	1.15 – 1.10 <input type="checkbox"/>	1.10 <input type="checkbox"/>
Bueno	1.20 – 1.15 <input type="checkbox"/>	1.15 – 1.10 <input type="checkbox"/>	1.10 – 1.00 <input type="checkbox"/>	1.00 <input type="checkbox"/>
Aceptable	1.15 – 1.10 <input type="checkbox"/>	1.10 – 1.00 <input type="checkbox"/>	1.00 – 0.90 <input type="checkbox"/>	0.90 <input type="checkbox"/>
Pobre	1.10 – 1.00 <input type="checkbox"/>	1.00 – 0.90 <input type="checkbox"/>	0.90 – 0.80 <input type="checkbox"/>	0.80 <input type="checkbox"/>
Muy pobre	1.00 – 0.90 <input type="checkbox"/>	0.90 – 0.80 <input type="checkbox"/>	0.80 – 0.70 <input type="checkbox"/>	0.70 <input type="checkbox"/>

Una vez ingresada la información solicitada para realizar el dimensionamiento del pavimento rígido se procede a ejecutar con la opción **diseñar** (Ver Figura 25).

**Figura 25.**

**Opción DISEÑAR para Ejecutar el software para pavimento rígido.**

### Pavimento Flexible

En la opción de pavimento flexible, se modifica la vista de acuerdo a la presentada en la Figura 26, está opción se dividen en 5 subgrupos los cuales son:

- Confiabilidad (R) y desviación estándar (So)
- Serviciabilidad inicial y final
- Tránsito de diseño
- Pavimento flexible
- Cálculo de W18 para un D (plg)

Figura 26.

Vista general interfaz software "Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)" para pavimento flexible.

Cabe mencionar que las opciones: tipo de pavimento, Confiabilidad (R) y desviación estándar (So), Serviciabilidades inicial y final y tránsito de diseño, se ingresan al software y contienen las mismas propiedades que para la sección anterior correspondiente a pavimento rígido. Por tanto, se procederá a desglosar el subgrupo "Pavimento Flexible".

Para ingresar las variables del pavimento flexible se tienen una serie de columnas (Ver Figura 27) las cuales corresponden a:

- Capa
- Módulo de Elasticidad (psi)
- Coeficiente de capa (ai)
- Coeficiente de drenaje (mi)
- SN necesario
- Espesor D (plg)

- Espesor  $D^*$  (plg)
- $SN^*$  dispuesto

**Figura 27.**

**Columnas para ingresar las variables del pavimento flexible.**

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So): Confiabilidad (R) [dropdown] So: 0.49 [Ayuda]

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.2 [Ayuda] PSI final: [ ]

Tránsito de diseño: W18 [ ]

Pavimento flexible

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coeficiente de capa (ai)	Coeficiente de drenaje (mi)	SN necesario	Espesor D (plg.)	Espesor $D^*$ (plg)	$SN^*$ dispuesto
1	[ ]	¿E/a?	[ ]	¿m?	[ ]	[ ]	[ ]
2	[ ]	¿E/a?	[ ]	¿m?	[ ]	[ ]	[ ]
3	[ ]	¿E/a?	[ ]	¿m?	[ ]	[ ]	[ ]
4	[ ]	MR	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

W18 real: [ ]

Cálculo de W18 para un SN: SN [ ] W18 [ ]

Quitar el control de variables [Salir]

Adicionalmente cuenta con las opciones **¿E/a?**, **MR** y **¿m?** y **Espesor  $D^*$  (plg)**.

En la Figura 28, se muestra la opción **¿E/a?**, esta permite seleccionar las propiedades de las capas, las cuales pueden ser: Concreto asfáltico, base granular, subbase granular, base tratada con asfalto, base tratada con cemento, Además muestra la fórmula del coeficiente estructural para la capa de estudio.

En la Figura 29, se muestra la opción **MR**, la cual permite calcular el módulo resiliente, teniendo en cuenta tres posibles escenarios. El cálculo del MR mediante 12 periodos mensuales, 24 periodos quincenales y correlación con el CBR. La vista general de estas opciones se observa en la Figura 30.

**Figura 28.**

**Propiedades de las capas**

Propiedades de las capas

Concreto asfáltico     Base tratada con asfalto    Copiar en la estructura  
 Base granular     Base tratada con cemento  
 Subbase granular    Cancelar

Concreto asfáltico

$$a_1 = 0.40 \times \log \frac{E_{CA}}{435 \text{ ksi}} + 0.44 \quad 0.20 \leq a_1 \leq 0.44$$

Módulo (ksi) a 68°F     Calcular

Coefficiente

**Figura 29.**

**Módulo resiliente de la subrasante**

Módulo resiliente de la subrasante

12 periodos (mensual)    Copiar en la estructura  
 24 periodos (quincenal)  
 Correlación con el CBR    Cancelar

**Figura 30.**

**Opciones de cálculo del módulo resiliente de la subrasante.**

Módulo resiliente de la subrasante

12 periodos (mensual)    Copiar en la estructura  
 24 periodos (quincenal)  
 Correlación con el CBR    Cancelar

Mes	Módulo resiliente de la subrasante Mi	Daño relativo (d)	Daño promedio	Módulo resiliente efectivo Mi (psi)
Enero	1			
Febrero	3			
Marzo	5			
Abril	7			
Mayo	9			
Junio	11			
Julio	13			
Agosto	15			
Septiembre	17			
Octubre	19			
Noviembre	21			
Diciembre	23			

Calcular Mi

Módulo resiliente de la subrasante

12 periodos (mensual)    Copiar en la estructura  
 24 periodos (quincenal)  
 Correlación con el CBR    Cancelar

Mes	Módulo resiliente de la subrasante Mi	Daño relativo (d)	Daño promedio	Módulo resiliente efectivo Mi (psi)
Enero	1			
Febrero	3			
Marzo	5			
Abril	7			
Mayo	9			
Junio	11			
Julio	13			
Agosto	15			
Septiembre	17			
Octubre	19			
Noviembre	21			
Diciembre	23			

Calcular Mi

Módulo resiliente de la subrasante

12 periodos (mensual)    Copiar en la estructura  
 24 periodos (quincenal)  
 Correlación con el CBR    Cancelar

Mes	Módulo resiliente de la subrasante Mi	Daño relativo (d)	Daño promedio	Módulo resiliente efectivo Mi (psi)
				CBR(3)

Calcular Mi

En la Figura31, se muestra la opción *¿m?*, la cual permite selección el coeficiente de drenaje teniendo en cuenta la calidad del drenaje y el porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a humedades cercanas a la saturación

**Figura 31.**

*Selección del coeficiente de drenaje (m).*

Coeficiente de drenaje (m)

Calidad del drenaje	El agua libre se remueve en...
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Aceptable	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	El agua no drenará

Copiar en la estructura

Cancelar

Calidad

Coeficiente (m)

Calidad del drenaje	% del tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a humedades cercanas a la saturación			
	Menos del 1%	1 - 5%	5 - 25%	Más del 25%
Excelente	1.40 – 1.35 <input type="text"/>	1.35 – 1.30 <input type="text"/>	1.30 – 1.20 <input type="text"/>	1.20 <input type="text"/>
Bueno	1.35 – 1.25 <input type="text"/>	1.25 – 1.15 <input type="text"/>	1.15 – 1.00 <input type="text"/>	1.00 <input type="text"/>
Aceptable	1.25 – 1.15 <input type="text"/>	1.15 – 1.05 <input type="text"/>	1.00 – 0.80 <input type="text"/>	0.80 <input type="text"/>
Pobre	1.15 – 1.05 <input type="text"/>	1.05 – 0.80 <input type="text"/>	0.80 – 0.60 <input type="text"/>	0.60 <input type="text"/>
Muy pobre	1.05 – 0.95 <input type="text"/>	0.95 – 0.75 <input type="text"/>	0.75 – 0.40 <input type="text"/>	0.40 <input type="text"/>

Y, por último, la opción *Espesor D\* (plg)*, permite visualizar los espesores mínimos tanto para concreto asfáltico como para base granular teniendo en cuenta el tránsito al cual estará sometido el pavimento de estudio.

**Figura 32.**

*Espesores mínimos del concreto asfáltico y base granular en pulgadas.*

Espesores mínimos

Tránsito, ESAL	Espesor mínimo (pulgadas)	
	Concreto asfáltico	Base granular
Menos de 50,000	1.0 ó T.S.	4.0
50,001 – 150,000	2.0	4.0
150,001 – 500,000	2.5	4.0
500,001 – 2,000,000	3.0	6.0
2,000,001 – 7,000,000	3.5	6.0
Más de 7,000,000	4.0	6.0

Cancelar

Una vez ingresada la información solicitada para realizar el dimensionamiento del pavimento flexible se procede a ejecutar con la opción *diseñar* (Ver Figura 33).

**Figura 33.**

***Opción DISEÑAR para Ejecutar el software para pavimento flexible.***

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**

Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento  
 Flexible  
 Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So)  
 Confiabilidad (R) [▼]  
 So 0.49 [Ayuda]

Serviciabilidades inicial y final  
 PSI inicial 4.2 [Ayuda]  
 PSI final [ ]

Tránsito de diseño  
 W18 [ ]

Pavimento flexible

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coeficiente de capa (ai)	Coeficiente de drenaje (mi)	SN necesario	Espesor D (plg.)	Espesor D* (plg)	SN* dispuesto
1	[ ]	¿E/a?	[ ]	¿m?	[ ]	[ ]	[ ]
2	[ ]	¿E/a?	[ ]	¿m?	[ ]	[ ]	[ ]
3	[ ]	¿E/a?	[ ]	¿m?	[ ]	[ ]	[ ]
4	[ ]	MR	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]	[ ]

Diseñar [ ]  
 Ver informe [ ]

W18 real [ ]

Cálculo de W18 para un SN  
 SN [ ] W18 [ ]

Quitar el control de variables [Salir]

## 5. desarrollo de ejercicio práctico en los software seleccionados

### 5.1 Pavimento flexible

Diseñar la estructura en pavimento flexible para las siguientes condiciones:

- Autopista interurbana nueva, de primera importancia
- 8.000.000 de ejes equivalentes de 8.2 ton.
- Módulo resiliente de la subrasante 10500 psi.
- Temperatura media anual promedio,  $T = 23.5^{\circ}\text{C}$ .
- Días promedio en los que llueve en el año=107.
- Velocidad media de circulación de vehículos pesados de 30 km/h.
- Calidad del drenaje Regular.

Al tipo de carretera ser una autopista interurbana nueva, de primera importancia el nivel de confiabilidad  $R(\%)$  será entre 80.0 – 99.9, este se asume como 90% al cual le corresponde un  $Z_r = -1.282$  y  $S_o = 0.45$  al ser pavimento flexible y una construcción nueva. Para el cálculo de índice de servicio se tiene que la serviciabilidad final será entre 2.5 – 3.0, asumiendo entonces un valor de  $\text{PSI}_{\text{final}} = 2.5$  y  $\text{PSI}_{\text{inicial}} = 4.2$ .

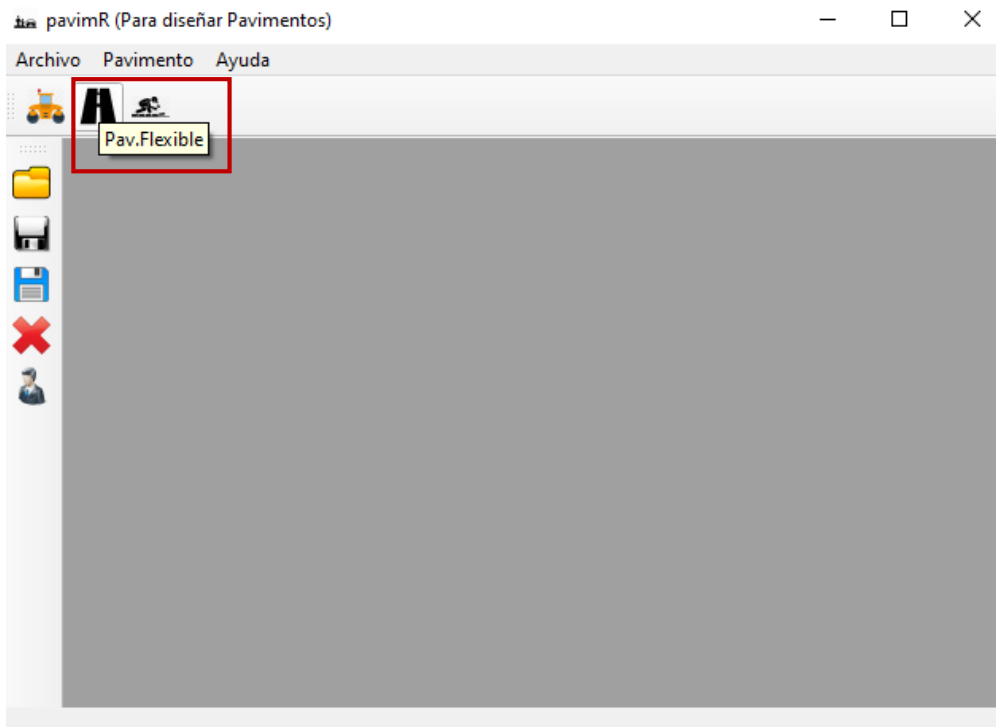
Teniendo en cuenta las figuras presentadas para en el primer apartado del presente documento, se determinan el módulo resiliente y el coeficiente estructural de la base y la subbase. Para la base se obtiene  $M_r = 30000$  psi y  $a = 0.138$  y para la subbase se obtiene 17000 psi y  $a = 0.12$ . El módulo resiliente de la mezcla asfáltica se obtiene a partir de la temperatura efectiva de la capa asfáltica, en  $^{\circ}\text{C}$  asumiendo 4 pulgadas de espesor de la capa asfáltica igual a  $35^{\circ}\text{C}$  y de acuerdo a la gráfica se obtiene que  $M_r = 582617$  psi y  $a = 0.488$ . Para el cálculo de los coeficientes de drenaje, se tiene que el porcentaje de días con lluvia es 29% y el drenaje es regular, este valor será igual a 0.80.

#### 5.1.1 Software Pavimr

Paso 1. Seleccionar opción pavimento flexible.

**Figura 34.**

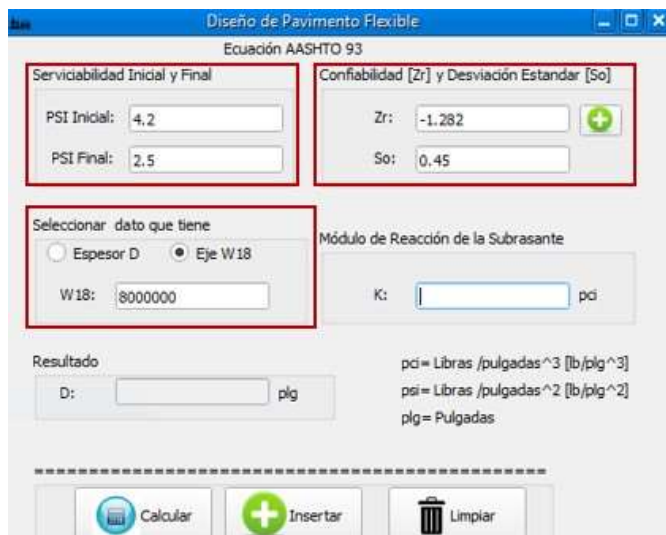
*Paso 1 Selección opción pavimento flexible.*



Paso 2. Ingresar los parámetros: Serviciabilidad inicial y final,  $Z_r$ ,  $S_o$  y seleccionar el dato que se tiene.

**Figura 35.**

*Ventana para ingresar parámetros del pavimento flexible.*

The image shows the 'Diseño de Pavimento Flexible' window, titled 'Ecuación AASHTO 93'. It contains several input fields and controls:

- Serviciabilidad Inicial y Final:** 'PSI Inicial' is 4.2 and 'PSI Final' is 2.5.
- Confiablez [ $Z_r$ ] y Desviación Estandar [ $S_o$ ]:** ' $Z_r$ ' is -1.282 and ' $S_o$ ' is 0.45.
- Seleccionar dato que tiene:** Radio buttons for 'Espesor D' and 'Eje W 18'. 'Eje W 18' is selected.
- W 18:** Input field with value 8000000.
- Módulo de Reacción de la Subrasante:** 'K' input field.
- Resultado:** 'D' input field with unit 'plg'.
- Legend:** 'pci = Libras /pulgadas^3 [lb/plg^3]', 'psi = Libras /pulgadas^2 [lb/plg^2]', 'plg = Pulgadas'.
- Buttons:** 'Calcular', 'Insertar', and 'Limpiar'.

Paso 3. Ingresar el módulo de reacción de cada una de las capas.

Para el módulo de reacción de la subrasante se asume este como el valor del módulo resiliente de cada una de las capas anteriores y deben ir variando manualmente para cada una de las capas. En las siguientes figuras se muestra el espesor de cada una de las capas.

**Figura 36.**

*Resultado del espesor de la capa asfáltica.*

The screenshot shows the 'Diseño de Pavimento Flexible' software interface. The title bar reads 'Diseño de Pavimento Flexible' and the subtitle is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections:

- Serviciabilidad Inicial y Final:** PSI Inicial: 4.2, PSI Final: 2.5.
- Confiabilidad [Zr] y Desviación Estandar [So]:** Zr: -1.282, So: 0.45.
- Seleccionar dato que tiene:** Radio buttons for 'Espesor D' and 'Eje W18'. 'Eje W18' is selected.
- W18:** 8000000.
- Módulo de Reacción de la Subrasante:** K: 30000 pci.
- Resultado:** D: 2.87908 plg.
- Legend:** pci = Libras /pulgadas<sup>3</sup> [lb/plg<sup>3</sup>], psi = Libras /pulgadas<sup>2</sup> [lb/plg<sup>2</sup>], plg = Pulgadas.
- Buttons:** Calcular, Insertar, Limpiar.

**Figura 37.**

*Resultado del espesor de la capa base.*

The screenshot shows the 'Diseño de Pavimento Flexible' software interface. The title bar reads 'Diseño de Pavimento Flexible' and the subtitle is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections:

- Serviciabilidad Inicial y Final:** PSI Inicial: 4.2, PSI Final: 2.5.
- Confiabilidad [Zr] y Desviación Estandar [So]:** Zr: -1.282, So: 0.45.
- Seleccionar dato que tiene:** Radio buttons for 'Espesor D' and 'Eje W18'. 'Eje W18' is selected.
- W18:** 8000000.
- Módulo de Reacción de la Subrasante:** K: 17000 pci.
- Resultado:** D: 3.57832 plg.
- Legend:** pci = Libras /pulgadas<sup>3</sup> [lb/plg<sup>3</sup>], psi = Libras /pulgadas<sup>2</sup> [lb/plg<sup>2</sup>], plg = Pulgadas.
- Buttons:** Calcular, Insertar, Limpiar.

**Figura 38.****Resultado del espesor de la capa subbase.**

Diseño de Pavimento Flexible  
Ecuación AASHTO 93

Serviciabilidad Inicial y Final  
PSI Inicial: 4.2  
PSI Final: 2.5

Confabilidad [Zr] y Desviación Estandar [So]  
Zr: -1.282  
So: 0.45

Selecconar dato que tiene  
 Espesor D  Eje W18  
W18: 8000000

Módulo de Reacción de la Subrasante  
K: 10500 pci

Resultado  
D: 4.27248 plg

pci = Libras /pulgadas<sup>3</sup> [lb/plg<sup>3</sup>]  
psi = Libras /pulgadas<sup>2</sup> [lb/plg<sup>2</sup>]  
plg = Pulgadas

Calcular Insertar Limpiar

Los resultados obtenidos del software PavimR son:

- Espesor capa asfáltica = 2.88 pulgadas = 4 pulgadas (Espesor mínimo)
- Espesor capa base = 3.58 pulgadas = 6 pulgadas (Espesor mínimo)
- Espesor capa subbase = 4.27 pulgadas = 6 pulgadas (Espesor mínimo)

### 5.1.2 Software método Aashto para el diseño de pavimentos (1993)

Paso 1. Seleccionar el tipo de pavimento

**Figura 39.****Selección de tipo de pavimento.**

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vázquez

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)  
Desarrollado por: Luz Ricardo Vázquez Varela, Ingeniero Civil, Manizales, 2006.

Tipo de pavimento  
 Flexible  
 Rígido

Confabilidad (R) y desviación estándar (So)  
Confabilidad (R): [dropdown]  
So: 0.45

Serviciabilidades inicial y final  
PSI inicial: 4.2  
PSI final: [dropdown]

Tránsito de diseño  
W18: [dropdown]

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coefficiente de capa (a)	Coefficiente de drenaje (m)	SN necesario	Espesor D (plg)	Espesor D* (plg)	SN* dispuesto	Diseñar
1	[input]	[input]	[input]	[input]	[input]	[input]	[input]	[button]
2	[input]	[input]	[input]	[input]	[input]	[input]	[input]	[button]
3	[input]	[input]	[input]	[input]	[input]	[input]	[input]	[button]
4	[input]	MR	[input]	[input]	[input]	[input]	[input]	[button]

Cálculo de W18 para un SN  
SN: [input] W18: [input]

Quitar el control de variables

Salir

Paso 2. Seleccionar confiabilidad (R) y desviación estándar (So).

**Figura 40.**

*Selección de confiabilidad y desviación estándar.*

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vázquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vázquez Varela, Ingeniero Civil, Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So):  
 90 %  $Z_r = -1.282$  (Ayuda)  
 So: 0.45 (Ayuda)

Serviciabilidades inicial y final:  
 PSI inicial: 4.2 (Ayuda)  
 PSI final: (Ayuda)

Tránsito de diseño: W18

Pavimento flexible

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coefficiente de capa (a)	Coefficiente de drenaje (m)	SN necesario	Espesor D (plg.)	Espesor D* (plg.)	SN* dispuesto	Diseñar
1	$E/a?$		$m?$					Ver informe
2	$E/a?$		$m?$					
3	$E/a?$		$m?$					W18 real
4	MR							

Cálculo de W18 para un SN:  
 SN: W18

Quitar el control de variables

Paso 3. Seleccionar serviciabilidad inicial y final.

**Figura 41.**

*Selección de serviciabilidad inicial y final.*

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vázquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vázquez Varela, Ingeniero Civil, Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So):  
 90 %  $Z_r = -1.282$  (Ayuda)  
 So: 0.45 (Ayuda)

Serviciabilidades inicial y final:  
 PSI inicial: 4.2 (Ayuda)  
 PSI final: 2.5 (Ayuda)

Tránsito de diseño: W18

Pavimento flexible

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coefficiente de capa (a)	Coefficiente de drenaje (m)	SN necesario	Espesor D (plg.)	Espesor D* (plg.)	SN* dispuesto	Diseñar
1	$E/a?$		$m?$					Ver informe
2	$E/a?$		$m?$					
3	$E/a?$		$m?$					W18 real
4	MR							

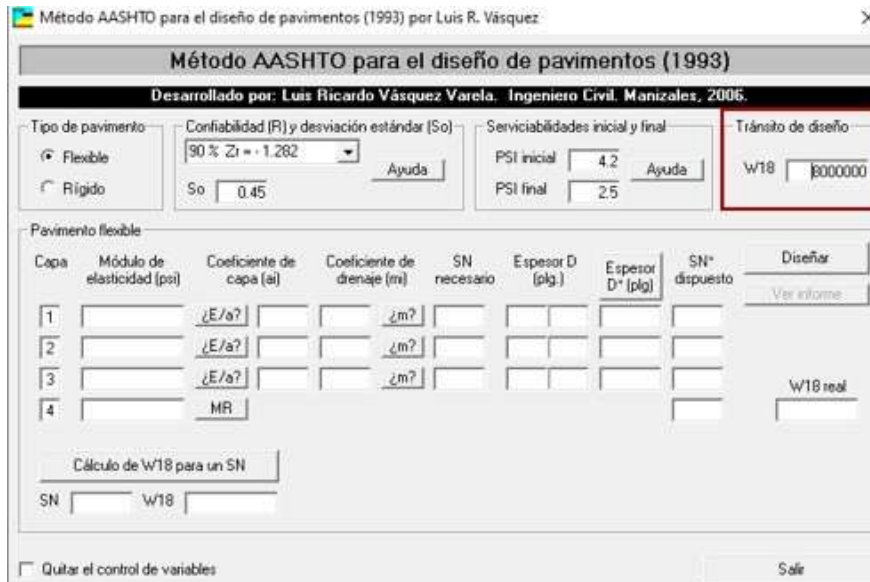
Cálculo de W18 para un SN:  
 SN: W18

Quitar el control de variables

Paso 4. Ingresar tránsito de diseño.

**Figura 42.**

*Selección de serviciabilidad inicial y final.*



Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confianabilidad (R) y desviación estándar (So): 90 % Z1 = -1.282  So: 0.45

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.2  PSI final: 2.5

Tránsito de diseño: W18: 8000000

Pavimento flexible

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coefficiente de capa (a <sub>i</sub> )	Coefficiente de drenaje (m <sub>i</sub> )	SN necesario	Espesor D (plg.)	Espesor D* (plg.)	SN* dispuesto	Diseñar
1		¿E/a?						
2		¿E/a?						
3		¿E/a?						
4		MR						

Cálculo de W18 para un SN

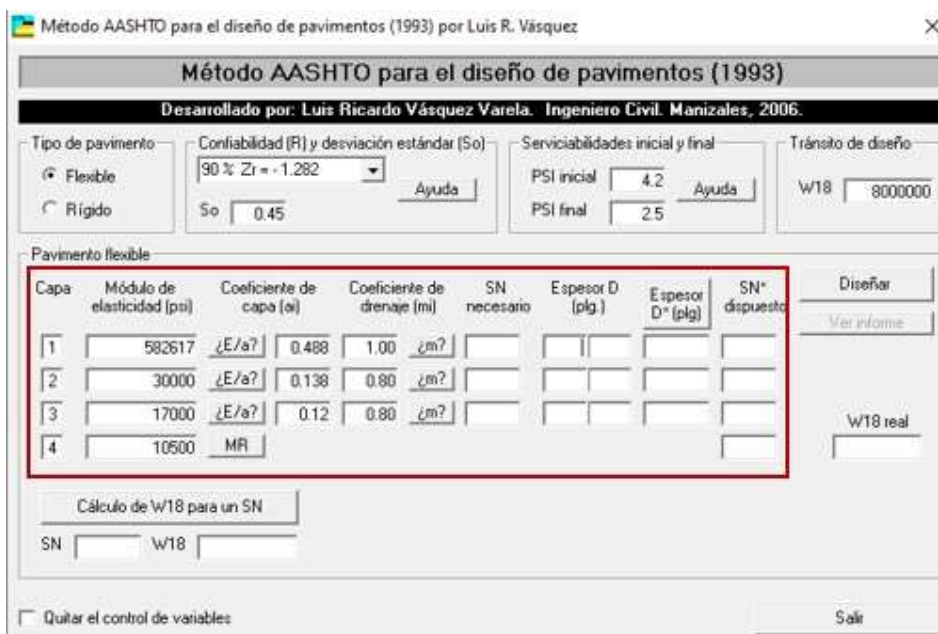
SN:  W18:

Quitar el control de variables

Paso 5. Ingreso de los datos del pavimento flexible.

**Figura 43.**

*Ingreso de datos del pavimento flexible.*



Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vásquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confianabilidad (R) y desviación estándar (So): 90 % Z1 = -1.282  So: 0.45

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.2  PSI final: 2.5

Tránsito de diseño: W18: 8000000

Pavimento flexible

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coefficiente de capa (a <sub>i</sub> )	Coefficiente de drenaje (m <sub>i</sub> )	SN necesario	Espesor D (plg.)	Espesor D* (plg.)	SN* dispuesto	Diseñar
1	582617	¿E/a?	0.488	1.00	¿m?			
2	30000	¿E/a?	0.138	0.80	¿m?			
3	17000	¿E/a?	0.12	0.80	¿m?			
4	10500	MR						

Cálculo de W18 para un SN

SN:  W18:

Quitar el control de variables

Paso 6. Ejecutar software.

**Figura 44.**

**Resultados del software.**

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vázquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vázquez Varela, Ingeniero Civil, Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confianabilidad (R) y desviación estándar (So): 90 %  $Z_r = -1.282$  So: 0.45

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.2, PSI final: 2.5

Tránsito de diseño: W18: 8000000

Capa	Módulo de elasticidad (psi)	Coefficiente de capa (ai)	Coefficiente de drenaje (mi)	SN necesario	Espesor D (plg.)	Espesor D* (plg.)	SN* dispuesto
1	582617 $\mu E/a?$	0.488	1.00 $\mu m?$	2.88	5.90	6.0	2.93
2	30000 $\mu E/a?$	0.138	0.80 $\mu m?$	3.58	5.91	6.0	0.66
3	17000 $\mu E/a?$	0.12	0.80 $\mu m?$	4.28	7.18	7.5	0.72
4	10500 MR						4.31 OK

W18 real: 8.47E+006

Botones: Diseñar, Ver informe, Salir

Los resultados obtenidos del software Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993):

- Espesor capa asfáltica = 5.90 pulgadas = 6.0 pulgadas (Espesor mínimo)
- Espesor capa base = 5.91 pulgadas = 6.0 pulgadas (Espesor mínimo)
- Espesor capa subbase = 7.18 pulgadas  $\approx$  7.5 pulgadas

## 5.2 Pavimento rígido

Diseñar la estructura en pavimento rígido para las siguientes condiciones:

- Autopista interurbana nueva, de primera importancia
- 8.000.000 de ejes equivalentes de 8.2 ton.
- Suelo de subrasante arcilloso con CBR 7%.
- Días promedio en los que llueve en el año=107.
- Calidad del drenaje Regular.
- Losa confinada lateralmente.
- Ancho del carril = 3.35 m.
- Módulo de elasticidad del concreto = 4.000.000 psi

Al tipo de carretera ser una autopista interurbana nueva, de primera importancia el nivel de confiabilidad  $R$  (%) será entre 80.0 – 99.9, este se asume como 90% al cual le corresponde un  $Z_r = -1.282$  y  $S_o = 0.35$  al ser pavimento rígido y una construcción nueva. Para el cálculo de índice de servicio se tiene que la serviciabilidad final será entre 2.5 – 3.0, asumiendo entonces un valor de PSI final = 3.0 y PSI inicial = 4.2.

Teniendo en cuenta las figuras y ecuaciones presentadas para en el segundo apartado del presente documento, se determinan el módulo de reacción de la subrasante  $K = 147$  pci.

El módulo de reacción combinado de la base granular se obtiene teniendo el módulo de reacción de la subrasante y un espesor de capa granular no tratada de 15 cm igual a 180 pci de igual forma el módulo de reacción combinado para la base estabilizada con cemento es igual a 500 pci.

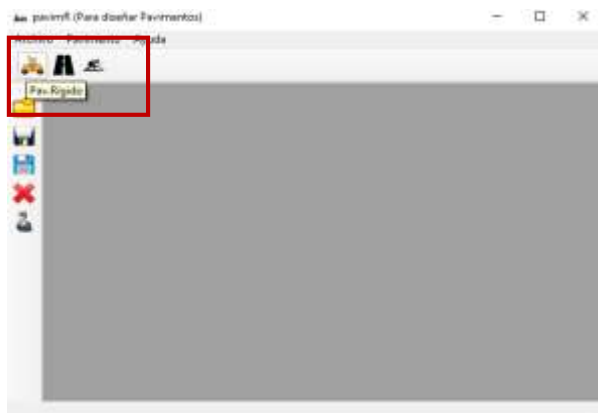
Para obtener el módulo de rotura del concreto, se determina de acuerdo al nivel de tránsito, en este caso es 3 y le corresponde una resistencia a la flexo tracción de 4.2 MPa por tanto el módulo de rotura del concreto es 609 psi. El coeficiente de transferencia de carga es 2.7 asumiendo juntas con pasadores y losa confinada. Para el cálculo del coeficiente de drenaje, se tiene que el porcentaje de días con lluvia es 29% y el drenaje es regular, este valor será igual a 0.90.

### 5.2.1 Software Pavimr

Paso 1. Seleccionar opción pavimento rígido.

**Figura 45.**

***Paso 1 Selección opción pavimento rígido***



Paso 2. Ingresar los parámetros: Serviciabilidad inicial y final,  $Z_r$ ,  $S_o$  y número de ejes equivalentes.

**Figura 46.**

*Ventana para ingresar parámetros del pavimento rígido.*

The screenshot shows a software window titled "Diseño de Pavimento Rígido" with the subtitle "Ecuación AASHTO 93". The interface is divided into several sections:

- Serviciabilidad Inicial y Final:** Two input fields with values 4.2 (PSI Inicial) and 3.0 (PSI Final).
- Confiabilidad [ $Z_r$ ] y Desviación Estandar [ $S_o$ ]:** Two input fields with values -1.282 ( $Z_r$ ) and 0.35 ( $S_o$ ), and a green plus button.
- Información Adicional:** Four input fields with values 4000000 (Módulo de Elasticidad del Concreto  $E_c$  [psi]), 2.7 (Coeficiente de Transmisión de Carga [ $J$ ]), 609 (Módulo de Rotura de Concreto  $S_c$  [psi]), and 0.90 (Coeficiente de Drenaje [ $C_d$ ]).
- Seleccionar dato que tiene:** Two radio buttons: "Espesor D" (unselected) and "Eje W18" (selected). Below is an input field with the value 8000000.
- Módulo de Reacción de la Subrasante:** An input field for "K:" followed by "pci".
- Resultado:** An input field for "D:" followed by "plg".
- Legend:**  $pci = \text{Libras / pulgadas}^3$  [ $lb/plg^3$ ],  $psi = \text{Libras / pulgadas}^2$  [ $lb/plg^2$ ],  $plg = \text{Pulgadas}$ .
- Buttons:** "Calcular" (blue), "Insertar" (green plus), and "Limpiar" (trash icon).

Paso 3. Ingresar el módulo de reacción de cada una de las capas.

Para el módulo de reacción de la subrasante se asume este como el valor del módulo de reacción de cada una de las capas anteriores y deben ir variando manualmente para cada una de las capas. En las siguientes figuras se muestra el espesor de cada una de las capas.

Figura 47.

*Resultado del espesor de la losa de concreto.*

The screenshot shows the 'Diseño de Pavimento Rígido' software interface. The title bar reads 'Diseño de Pavimento Rígido' and the subtitle is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections:

- Serviciabilidad Inicial y Final:** PSI Inicial: 4.2, PSI Final: 3.0.
- Confiablez [Zr] y Desviación Estándar [So]:** Zr: -1.282, So: 0.35.
- Información Adicional:**
  - Módulo de Elasticidad del Concreto  $E_c$  [psi]: 4000000
  - Coefficiente de Transmisión de Carga [J]: 2.7
  - Módulo de Rotura de Concreto  $S_c$  [psi]: 609
  - Coefficiente de Drenaje [Cd]: 0.90
- Seleccionar dato que tiene:**
  - Espesor D
  - Eje W18
- W18:** 8000000
- Módulo de Reacción de la Subrasante:** K: 500 pci
- Resultado:** D: 9.79367 plg
- Legend:**
  - pci = Libras /pulgadas<sup>3</sup> [lb/plg<sup>3</sup>]
  - psi = Libras /pulgadas<sup>2</sup> [lb/plg<sup>2</sup>]
  - plg = Pulgadas
- Buttons:** Calcular, Insertar, Limpiar.

Figura 48.

*Resultado del espesor de la base estabilizada con cemento.*

The screenshot shows the 'Diseño de Pavimento Rígido' software interface. The title bar reads 'Diseño de Pavimento Rígido' and the subtitle is 'Ecuación AASHTO 93'. The interface is divided into several sections:

- Serviciabilidad Inicial y Final:** PSI Inicial: 4.2, PSI Final: 3.0.
- Confiablez [Zr] y Desviación Estándar [So]:** Zr: -1.282, So: 0.35.
- Información Adicional:**
  - Módulo de Elasticidad del Concreto  $E_c$  [psi]: 4000000
  - Coefficiente de Transmisión de Carga [J]: 2.7
  - Módulo de Rotura de Concreto  $S_c$  [psi]: 609
  - Coefficiente de Drenaje [Cd]: 0.90
- Seleccionar dato que tiene:**
  - Espesor D
  - Eje W18
- W18:** 8000000
- Módulo de Reacción de la Subrasante:** K: 180 pci
- Resultado:** D: 10.4012 plg
- Legend:**
  - pci = Libras /pulgadas<sup>3</sup> [lb/plg<sup>3</sup>]
  - psi = Libras /pulgadas<sup>2</sup> [lb/plg<sup>2</sup>]
  - plg = Pulgadas
- Buttons:** Calcular, Insertar, Limpiar.

Figura 49.

## Resultado del espesor de la base granular.

Diseño de Pavimento Rígido  
Ecuación AASHTO 93

Serviciabilidad Inicial y Final  
PSI Inicial: 4.2  
PSI Final: 3.0

Confiablez [Zr] y Desviación Estándar [So]  
Zr: -1.282  
So: 0.35

Información Adicional  
Módulo de Elasticidad del Concreto E<sub>c</sub> [psi]: 4000000  
Coeficiente de Transmisión de Carga [I]: 2.7  
Módulo de Rotura de Concreto S<sub>c</sub> [psi]: 609  
Coeficiente de Drenaje [Cd]: 0.90

Seleccionar dato que tiene  
 Espesor D  Eje W18  
W18: 8000000

Módulo de Reacción de la Subrasante  
K: 147 pc

Resultado  
D: 10.4933 plg

pc= Libras /pulgadas<sup>3</sup> [lb/plg<sup>3</sup>]  
ps= Libras /pulgadas<sup>2</sup> [lb/plg<sup>2</sup>]  
plg= Pulgadas

Calcular Insertar Limpiar

Los resultados obtenidos del software PavimR son:

- Espesor de la losa de concreto = 9.79 pulgadas
- Espesor de la base estabilizada con cemento = 10.40 pulgadas
- Espesor de la base granular = 10.49 pulgadas

### 5.2.2 Software método Aashto para el diseño de pavimentos (1993)

Paso 1. Seleccionar el tipo de pavimento

**Figura 50.**  
**Selección de tipo de pavimento.**

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vázquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vázquez Varela, Ingeniero Civil, Manizales, 2006.

Tipo de pavimento

Flexible

Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So)

Confiabilidad (R) [90%] Ayuda

So [0.35]

Serviciabilidades inicial y final

PSI inicial [4.5] Ayuda

PSI final [ ]

Tránsito de diseño

W18 [ ]

Pavimento rígido

Diseñar

Ver informe

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in) [ ] Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi) [ ]  $(E_c/S_c?)$

Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi) [ ]

Coefficiente de transmisión de carga - J [ ] J

Coefficiente de drenaje - Cd [ ] Cd

Espesor de losa D (plg) [ ]

D redondeado (plg) [ ]

W18 real [ ]

Cálculo de W18 para un D (plg)

D [ ] W18 [ ]

Quitar el control de variables

Salir

Paso 2. Seleccionar confiabilidad (R) y desviación estándar (So).

**Figura 51.**  
**Selección de confiabilidad y desviación estándar.**

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vázquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vázquez Varela, Ingeniero Civil, Manizales, 2006.

Tipo de pavimento

Flexible

Rígido

Confiabilidad (R) y desviación estándar (So)

90% Zi = -1.282 Ayuda

So [0.35]

Serviciabilidades inicial y final

PSI inicial [4.5] Ayuda

PSI final [ ]

Tránsito de diseño

W18 [ ]

Pavimento rígido

Diseñar

Ver informe

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in) [ ] Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi) [ ]  $(E_c/S_c?)$

Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi) [ ]

Coefficiente de transmisión de carga - J [ ] J

Coefficiente de drenaje - Cd [ ] Cd

Espesor de losa D (plg) [ ]

D redondeado (plg) [ ]

W18 real [ ]

Cálculo de W18 para un D (plg)

D [ ] W18 [ ]

Quitar el control de variables

Salir

Paso 3. Seleccionar serviciabilidad inicial y final.

Figura 52.

## Selección de serviciabilidad inicial y final.

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vázquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vázquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confiablez (R) y desviación estándar (So): 90 %  $Z_r = -1.282$  Ayuda So 0.35

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial 4.2 Ayuda PSI final 3.0

Tránsito de diseño: W18

Pavimento rígido

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in) Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)  $\sqrt{E_c/S_c}$

Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi) Espesor de losa D (plg)

Coefficiente de transmisión de carga - J D redondeado (plg)

Coefficiente de drenaje - Cd W18 real

Cálculo de W18 para un D (plg)

D W18

Quitar el control de variables Diseñar Ver informe Salir

Paso 4. Ingresar tránsito de diseño.

Figura 53.

## Ingreso del tránsito de diseño.

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vázquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vázquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confiablez (R) y desviación estándar (So): 90 %  $Z_r = -1.282$  Ayuda So 0.35

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial 4.2 Ayuda PSI final 3.0

Tránsito de diseño: W18 800000

Pavimento rígido

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in) Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto -  $E_c$  (psi)  $\sqrt{E_c/S_c}$

Módulo de rotura del concreto -  $S_c$  (psi) Espesor de losa D (plg)

Coefficiente de transmisión de carga - J D redondeado (plg)

Coefficiente de drenaje - Cd W18 real

Cálculo de W18 para un D (plg)

D W18

Quitar el control de variables Diseñar Ver informe Salir

Paso 5. Ingreso de los datos del pavimento flexible.

**Figura 54.**

*Ingreso de datos del pavimento flexible.*

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vázquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vázquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confianza (R) y desviación estándar (So): 90 % Zi = -1.282 So: 0.35 Ayuda

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.2 PSI final: 3.0 Ayuda

Tránsito de diseño: W18: 8000000

Pavimento rígido

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in): 147 Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi): 4000000 ¿Ec/Sc?

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi): 609

Coeficiente de transmisión de carga - J: 27 J

Coeficiente de drenaje - Cd: 0.90 Cd

Espesor de losa D (plg):

D redondeado (plg):

W18 real:

Cálculo de W18 para un D (plg)

D: W18:

Quitar el control de variables Salir

Paso 6. Ejecutar software.

**Figura 55.**

*Resultados del software.*

Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993) por Luis R. Vázquez

**Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993)**  
Desarrollado por: Luis Ricardo Vázquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2006.

Tipo de pavimento:  Flexible  Rígido

Confianza (R) y desviación estándar (So): 90 % Zi = -1.282 So: 0.35 Ayuda

Serviciabilidades inicial y final: PSI inicial: 4.2 PSI final: 3.0 Ayuda

Tránsito de diseño: W18: 8000000

Pavimento rígido

Módulo de reacción de la subrasante - k (psi/in): 147 Ver Guía AASHTO para su obtención

Módulo de elasticidad del concreto - Ec (psi): 4000000 ¿Ec/Sc?

Módulo de rotura del concreto - Sc (psi): 609

Coeficiente de transmisión de carga - J: 2.7 J

Coeficiente de drenaje - Cd: 0.90 Cd

Espesor de losa D (plg): 10.52

D redondeado (plg): 11.00

W18 real: 1.08E+007

Cálculo de W18 para un D (plg)

D: W18:

Quitar el control de variables Salir

Los resultados obtenidos del software Método AASHTO para el diseño de pavimentos (1993):

- Espesor de la losa de concreto = 10.52 pulgadas  $\approx$  11.00 pulgadas

Para el software descrito anteriormente se calcula únicamente el espesor de la losa de concreto, no se tiene en cuenta capas adicionales como base estabilizada con concreto y base granular.

## 6. Presentación de las metodologías a estudiantes de la Universidad Pontificia Bolivariana

En la formulación del anteproyecto correspondiente al estudio presentado, fue definido el alcance de socializar las metodologías desarrolladas, con el fin de conocer la opinión y aceptación de los estudiantes de la Universidad Pontificia Bolivariana. Con el fin de dar cumplimiento a lo explicado, se construyó un formulario en la plataforma Google Forms; en la difusión de este formulario se adjuntaron los anexos correspondientes a los videos que explican las metodologías trabajadas los cuales se titulan “Pavimento flexible PAVIMR” y “Pavimento rígido AASHTO”.

A partir del mercado objetivo previamente definido se busca conocer el porcentaje de aceptación en los parámetros definidos para las metodologías presentadas, así como conocer las tendencias de mayor interés.

### 6.1 Muestra

La determinación de la muestra de personas se llevó a cabo mediante la aplicación de un muestreo proporcional en la facultad de ingeniería civil, empleando los datos presentados en la Tabla 18.

**Tabla 18.**

#### *Parámetros de muestreo proporcional (n)*

Z	Valor estadístico	1,96
p	Probabilidad de éxito	0,5
q	Probabilidad de fracaso	0,5
N	Población (Estudiantes de la facultad de ingeniería civil en octavo semestre o un nivel superior)	200
E	Error	0,03
n	Muestreo Proporcional Numero de encuestas	1060 100

$$\text{Muestreo proporcional } (n) = \frac{Z^2 * p * q * N}{E^2}$$

$$E^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q$$

$$1,96^2 * 0,5 * 0,5 * 200$$

$$Muestreo\ proporcional\ (n) = \frac{\quad}{0,03^2 * (200 - 1) + 1,96^2 * 0,5 * 0,5}$$

$$Muestreo\ proporcional\ (n) = 168.56$$

Analizando los resultados obtenidos en la ecuación planteada se requería obtener la opinión de no menos de 169 personas, para tener un porcentaje de seguridad del 95%. El alcance del estudio se limita a conocer una opinión exploratoria, por lo cual se toma el 10% del muestreo proporcional como la muestra de personas a encuestar, lo que equivale a 17 encuestas.

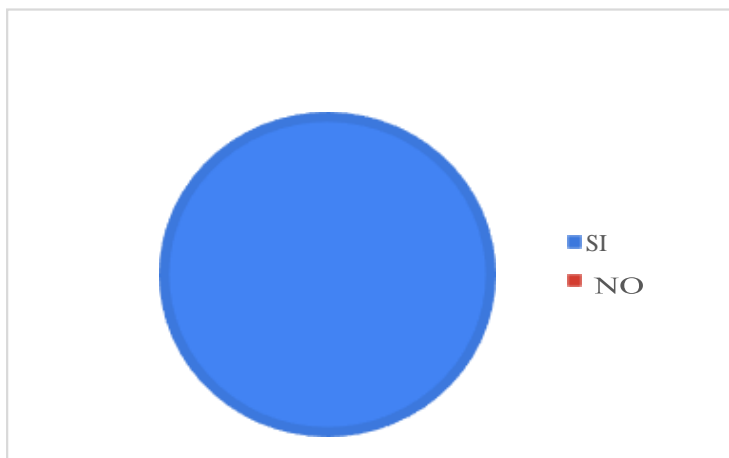
## 6.2 Perfil

La encuesta va dirigida, según las variables de segmentación aplicadas, a la población de estudiantes de la facultad de ingeniería civil de la Universidad Pontificia Bolivariana, en octavo semestre o un nivel superior. Se plantean una serie de preguntas que permite profundizar en las preferencias relacionadas a la metodología de los diseños planteados.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la encuesta realizada, la cual fue respondida por un total de 20 personas de la Universidad Pontificia Bolivariana.

### Figura 56.

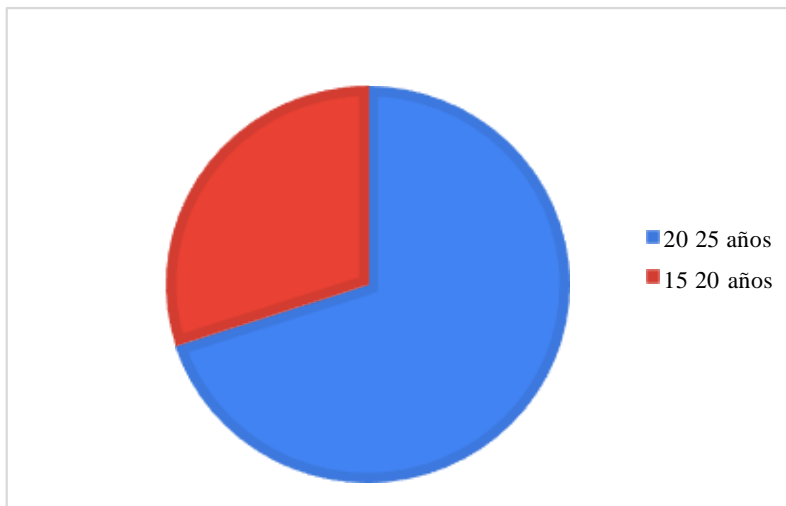
#### *Pregunta 1 del formulario*



**Análisis:** Se evidenció que el 100% de los encuestados son estudiantes de la facultad de ingeniería civil de la Universidad Pontificia Bolivariana.

**Figura 57.**

*Pregunta 2 del formulario*



**Análisis:** Se evidenció que el 30% de los encuestados son estudiantes que se encuentran en un rango de edad de 15-20 años, mientras que el 70% está en los 20-25 años de edad.

**Figura 58.**

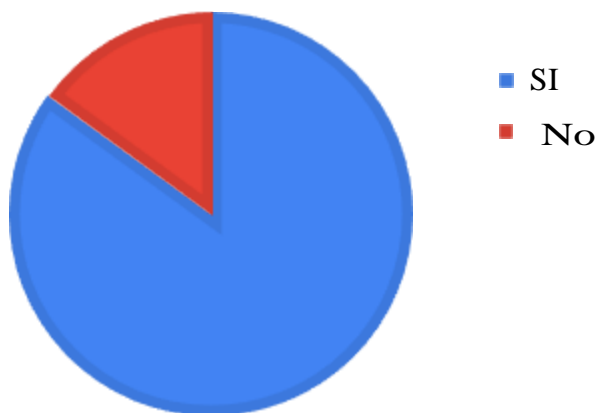
*Pregunta 3 del formulario*



**Análisis:** Se evidenció que el 100% de los encuestados ha utilizado tutoriales de internet como método para resolver dudas generadas en los diferentes temas del pregrado.

**Figura 59.**

*Pregunta 4 del formulario*

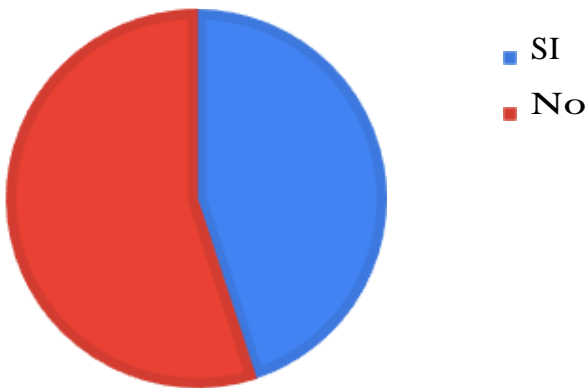


**Análisis:** Se evidenció que el 85% de los encuestados considera que los software de diseño en la ingeniería civil son de utilidad, mientras que el 15% considera que no son útiles en el diseño.

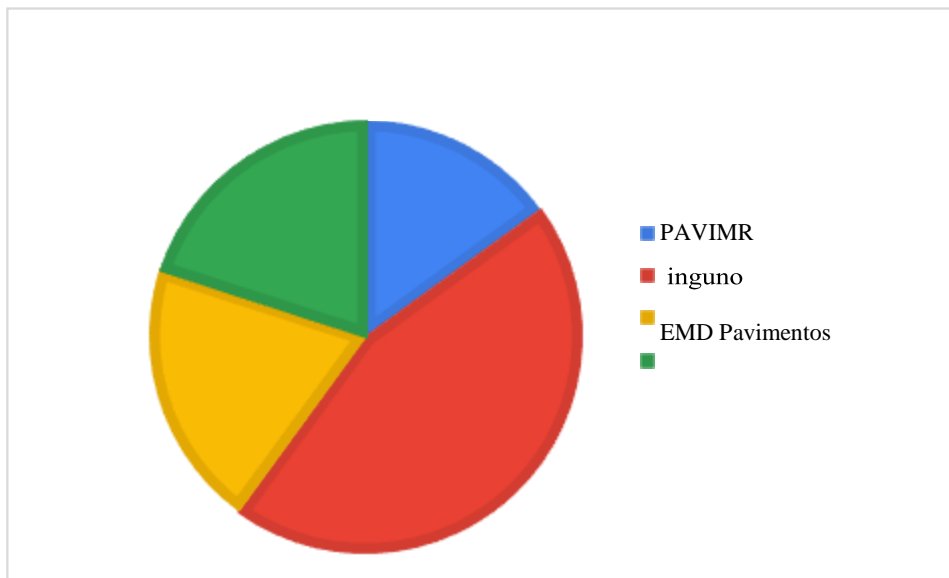
**Figura 60.**

*Pregunta 5 del formulario*

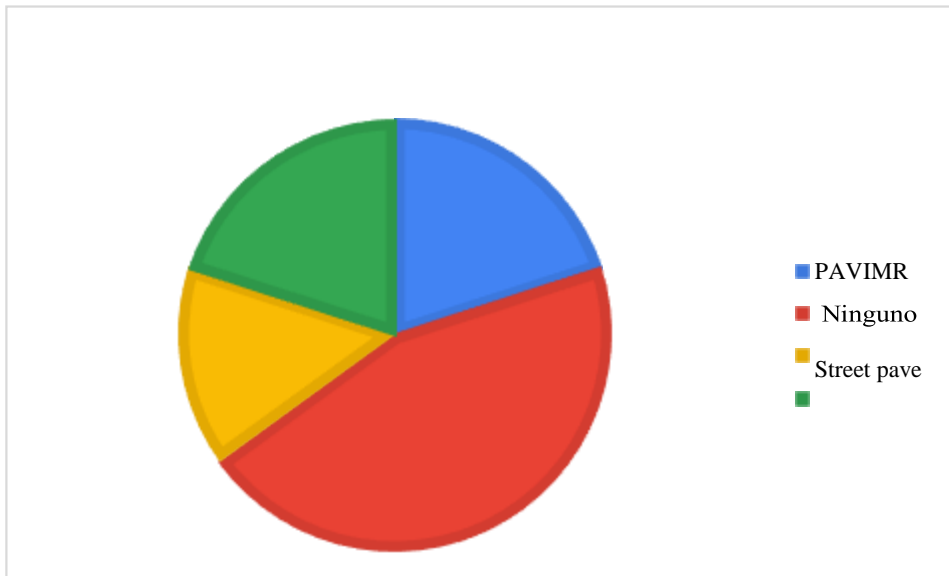
**Análisis:** Se evidenció que el 75% de los encuestados curso la asignatura de pavimentos mientras el 15% aun no la ha cursado

**Figura 61.****Pregunta 6 del formulario**

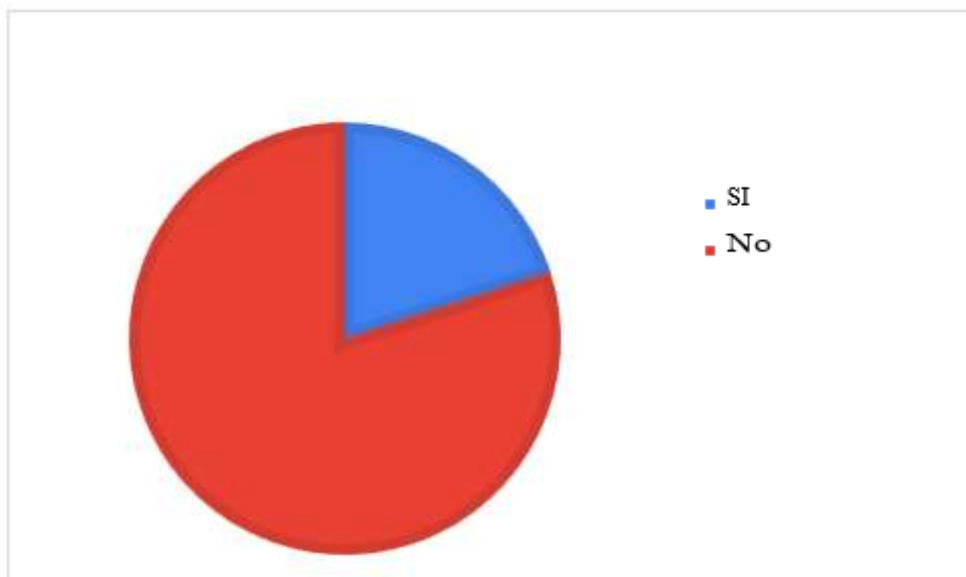
**Análisis:** Se evidenció que el 55% de los encuestados uso algún tipo de software en la asignatura de pavimentos, mientras que el 45% no utilizo ningún tipo de ayuda tecnológica.

**Figura 62.****Pregunta 7 del formulario**

**Análisis:** Se evidenció que el 45% de los encuestados no conoce ningún software para el diseño de pavimentos rígidos; el 20% conoce Street pave, otro 20% EMD Pavimentos. Finalmente, el 15% de los encuestados conoce PaviMR.

**Figura 63.***Pregunta 8 del formulario*

**Análisis:** Se evidenció que el 45% de los encuestados no conoce ningún software para el diseño de pavimentos flexibles; el 20% conoce Street Pave, otro 20% HiPave. Finalmente, el 15% de los encuestados conoce PaviMR.

**Figura 64.***Pregunta 9 del formulario*

**Análisis:** Se evidenció que el 80% de los encuestados no domina a profundidad los software que menciono, mientras que el 20% acusa que si los domina.

**Figura 65.**

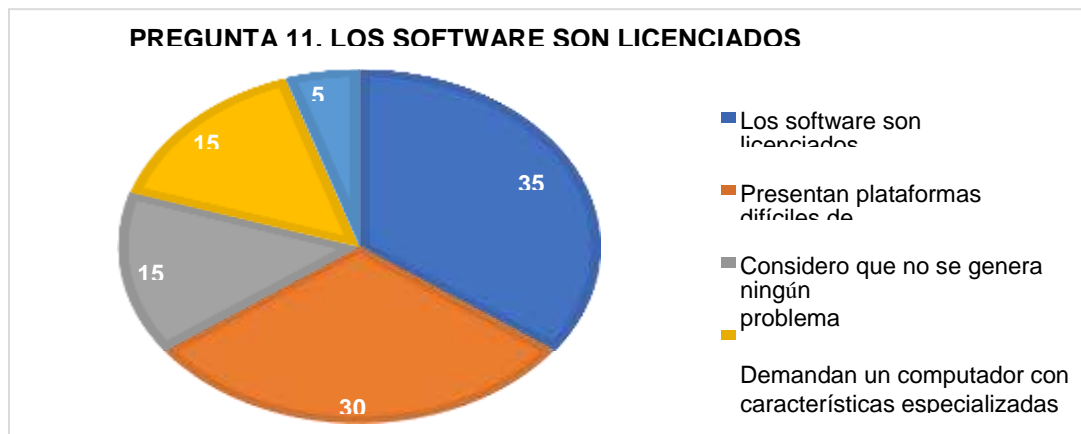


**Pregunta 10 del formulario**

**Análisis:** Se evidenció que el 30% de los encuestados aprendió a través de YouTube el dominio de los software descritos, el 5% lo hizo a través de auto aprendizaje, el 10% mediante lectura de libros y el 20% a través de un docente.

**Figura 66.**

**Pregunta 11 del formulario**



**Análisis:** Se evidenció que el 35% de los encuestados considera que el problema de utilizar software es que sean de tipo licenciado; el 30% considera que son difíciles de comprender, el 15% no tiene ningún tipo de problema. Finalmente, el 15% considera que demandan un computador muy especial.

**Figura 67.**

*Pregunta 12 del formulario*



**Análisis:** Se evidenció que el 100% de los encuestados observó los videos adjuntos

**Figura 68.**

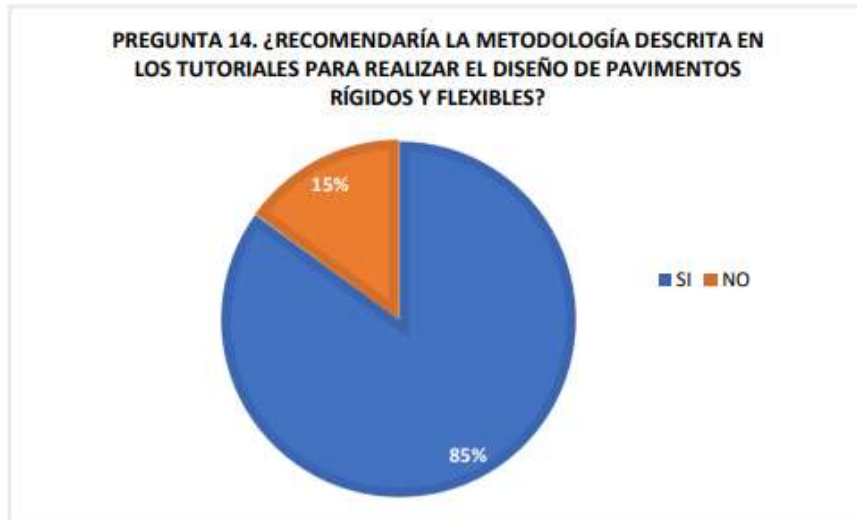
*Pregunta 13 del formulario*



**Análisis:** Se evidenció que el 85% de los encuestados califico como excelente el material presentado en los tutoriales, el 10% como sobresaliente y el 5% como bueno.

**Figura 69.**

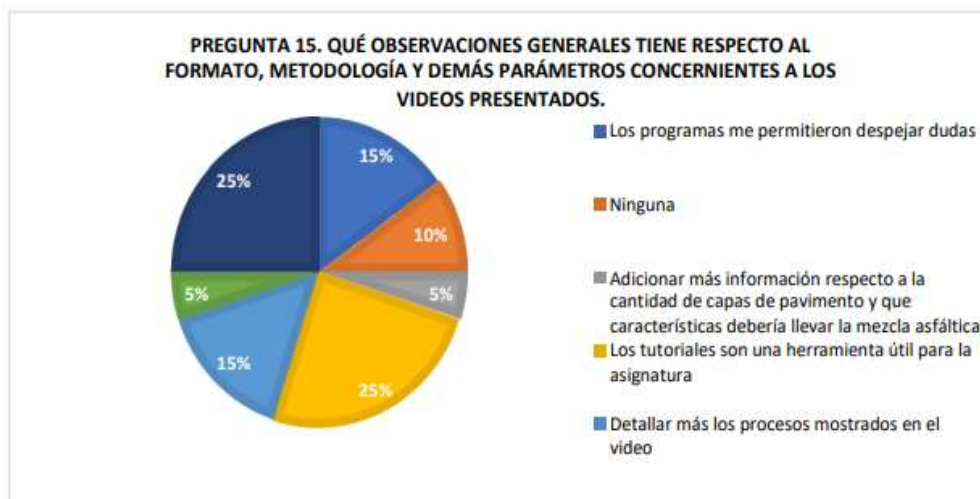
**Pregunta 14 del formulario**



**Análisis:** Se evidenció que el 85% de los encuestados recomienda la metodología trabajada en el diseño de pavimentos rígidos y flexibles mientras que el 15% no la considera pertinente.

**Figura 70.**

**Pregunta 15 del formulario**



**Análisis:** Los porcentajes presentados respecto a las metodologías presentadas van enfocados a que las herramientas tutoriales sirven de apoyo en el aprendizaje de cualquier tipo de tema.

## **7. Conclusiones y Recomendaciones**

Utilizar software para diseño de los diferentes campos de la ingeniería civil, reduce el porcentaje de error en los cálculos aritméticos realizados, optimiza el tiempo empleado y permite un análisis más detallado de los parámetros estudiados.

En la red se encuentran herramientas que permiten desarrollar fácilmente cualquier tipo de tutorial, bajo los formatos características y naturaleza deseada.

El mercado ofrece software de múltiples naturalezas en el diseño de pavimentos; el alcance de los programas lo condicionan el hecho de si se debe depositar algún tipo de dinero para su uso o no. Evidentemente los software pagos, ofrecen un estudio a profundidad que permite evaluar de manera detallada cada uno de los parámetros estudiados.

La pandemia por la cual atraviesa la humanidad, orienta la reinención de la educación y fomenta el uso de herramientas tecnológicas para el aprendizaje

Los profesionales que dominen herramientas tecnológicas adquieren destrezas diferenciadoras que los hace atractivos en el mercado laboral.

Los software seleccionados para el estudio fueron aquellos que a nuestro criterio presentaban una interfaz fácilmente manejable y que a su vez fueran sencillos de instalar en los equipo; a su vez que las características de los programas estuvieran acordes al alcance presentado en el estudio.

Los estudiantes de pregrado encuentran la necesidad de acompañamiento en explicación de software que a veces no se profundiza tanto durante las asignaturas pertinentes.

Los estudiantes poco conocen de software en materia de pavimentos, por lo cual se genera la necesidad de abordar más a profundidad en el tema durante la asignatura o generar una electiva que profundice en el tema.

Como primera medida los estudiantes acuden a la información que brinda herramientas como internet para resolver dudas.

## Referencias Bibliográficas

- Aashto guide for design of pavement structures. (1993). Washington D.C: American Association of State Highway and transportation officials.
- Cárdenas, J. (2015). En *Diseño Geométrico de Carreteras* (págs. 8,9,10). Bogotá: ECOE Ediciones.
- Código Nacional de Transito. (2002). Bogotá: Ministerio de transporte.
- ECOASFALT. (2019). *Consecuencias del asfalto en mal estado de conservación*. Pozuelo de Alarcó: Aragon.
- Gonzales, O. (2018). *El video tutorial como herramienta de educación no formal*. 1(59), 71-72.
- Herreros, C. (1998). *El video educativo*. Madrid España: Sociedad Española de pedagogía.
- Implementation of the ASSHTO Pavement Design Procedures into Multi-PAVE. (s.f.). *LAP Lambert Academic Publishing* .
- INVIAS. (2008). *Manual de diseño geométrico de carreteras*. Bogotá: Ministerio de transporte.
- Mesa, J. C. (1984). *Diseño de Pavimentos rígidos*. Cali: Universidad del Valle.
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.
- Ochoa Rincón, H. S. (2017). *Programa informático para el diseño de pavimentos flexibles y rígidos por el método AASHTO*.
- Ospina, J. J. (2002). *Diseño Geométrico de Vías*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Pavement Interactive. (2021). (*Pavement Tools Consortium*)  
<https://pavementinteractive.org/>
- Pavements, S. B. (2016). *Intergrated Analysis and Design of Conventional and Heavy Duty Asphalt Pavement*. SUN, Lijun.
- Speight, J. G. (s.f.). *Asphalt materials science and technology II Asphalt Technology*.
- Suarez, A. M. (2016). *Los videos tutoriales como herramienta formativa*. Revista ingenio, 10, 37-42.

Tomas, S. (2018). *Programas informáticos para el diseño de pavimentos flexibles y rígidos por el método AASHTO*. Ingenio Magno, 8.

Utilización didáctica del video. (2001). Barcelona: PU. Varela, L. R. (2016). *Manual DEPAV*.