

**DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR MEDIO DEL SOFTWARE
PAVEMENT DE AASHTOWARE Y MANUAL DE USO PRIMARIO**

LUIS CARLOS CERON GALVIS



UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

INGENIERIA CIVIL

BUCARAMANGA

2017

**DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR MEDIO DEL SOFTWARE
PAVEMENT DE AASHTOWARE Y MANUAL DE USO PRIMARIO**

LUIS CARLOS CERON GALVIS

Trabajo de grado para optar por el título de Ingeniero Civil

Director:

JULIAN ANDRE GALVIS FLORES



UNIVERSIDAD PONTIFICA BOLIVARIANA

ESCUELA DE INGENIERÍAS

INGENIERIA CIVIL

BUCARAMANGA

2017

Nota de Aceptación

Firma del presidente del jurado.

Firma del jurado.

Firma del jurado.

Bucaramanga, Junio 15 de 2017

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada quiero agradecerle a Dios por que sé que sin El no hubiese sido posible nada de lo actualmente vivido y que solo por su gracia Divina es que se han culminado los estudios superiores. Agradecer profundamente a mis padres por que se han esforzado mucho a lo largo de estos 5 años de carrera buscado y pellizcando de cada lugar para poder costear mi carrera profesional, por que se que son los mejores padres del mundo y soñara a cliché pero esta vez estoy convencido que nadie tiene mejores padres que yo. Agradecerle a mi hermana menor que también fue un apoyo durante mi carrera a no flaquear y a seguir luchando por el sueño de ser ingeniero civil, también agradecer a mi novia y hoy en día mi prometida, quien estuvo la mayor parte de mi carrera acompañándome y ayudándome a administrar mejor el tiempo y a darle prioridad a lo que se le debe dar.

DEDICATORIA

Este proyecto de grado tiene como dedicatoria a todos los estudiantes de ingeniería civil que estén interesados en el diseño de pavimentos por medio de herramientas computacionales, a profundizar en el conocimiento de la ingeniería de pavimentos. No todo está descubierto, aún falta mucho por descubrir y el llamado es a no quedarse con el conocimiento dado por el profesor, si no a seguir leyendo e interiorizando cada vez más, por que mientras más se lee más criterio y conocimiento se gana. Así que esta dedicatoria va a todos mis compañeros ingenieros a marcar la diferencia y tener ese amor a la sabiduría, esa filosofía primitiva que originó el pensamiento actual y el desarrollo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	16
1. OBJETIVOS	17
1.1 OBJETIVO GENERAL	17
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
2. MARCO TEÓRICO.....	18
2.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES.....	18
2.1.1 Estructura	19
2.1.1.1 <i>Subbase granular</i>	19
2.1.1.2 <i>Base granular</i>	20
2.1.1.3 <i>Carpeta</i>	20
2.1.2 Materiales	20
2.1.2.1 <i>Agregados pétreos</i>	20
2.1.2.2 <i>Tipos de agregados</i>	21
2.1.2.2.1 <i>Arena</i>	21
2.1.2.2.2 <i>Grava</i>	21
2.1.2.3 <i>Propiedades</i>	21
2.1.2.3.1 <i>Físicas</i>	21
2.1.3 Densidad	23
2.1.3.1 <i>Densidad real</i>	23
2.1.3.2 <i>densidad nominal</i>	23
2.1.3.3 <i>Densidad aparente</i>	23
2.1.3.4 <i>Físico – químicas</i>	23
2.1.4 Adherencia	23
2.1.5 Alterabilidad.....	23
2.2 ESTUDIO DE SUELOS.....	24
2.2.1 Tipos de suelos	24

2.2.1.1 Arcillas	24
2.2.1.2 Limos	24
2.2.1.3 Arenas	25
2.2.1.4 Gravas	25
2.2.2 Clasificación de suelos	25
2.2.2.1 Clasificación de suelos por el método AASHTO	25
2.2.2.1.1 Granulometría	26
2.2.2.1.2 Limite líquido	27
2.2.2.1.3 Limite plástico	27
2.3 ENSAYO PROCTOR MODIFICADO.....	27
2.3.1. CBR	28
2.4. TRANSITO	30
2.5. CLIMA	30
2.6 MÉTODO DE DISEÑO MECANICISTA EMPÍRICO.....	31
3. ELABORACIÓN DE MANUAL	33
3.1 MANUAL DEL SOFTWARE PAVEMENT DE AASHTO.....	33
3.1.1 Inicio del programa	33
3.2 NUEVO DISEÑO	34
3.3 INGRESO DE DATOS	35
3.3.1 Seleccionar tipo de diseño	35
3.3.2 Seleccionar el tipo del pavimento.....	36
3.3.3 Seleccionar el periodo de vida del proyecto en “Design life (years)”	36
3.3.4 Seleccionar la fecha de la construcción base	37
3.3.5 Seleccionar la fecha de la construcción del pavimento.....	38
3.3.6. Seleccionar la fecha de apertura del tráfico	38
3.3.7 Insertar el IRI inicial.....	39
3.3.8. Insertar el IRI final	39
3.3.9. Insertar el valor de fatiga de agrietamiento de arriba hacia abajo	40
3.3.10. Insertar el porcentaje de fatiga de abajo hacia arriba	40
3.3.11. Insertar el valor de agrietamiento por temperatura	41

2.3.12. Insertar la deformación máxima en todo el pavimento.....	41
3.3.13. Insertar deformación máxima de la carpeta de rodadura.....	42
3.3.14. Añadir capas de la estructura del pavimento	42
3.3.15. Insertar las capas de la estructura del pavimento	43
3.3.16. Insertar valores de tránsito	46
3.3.17. Insertar datos de clima	53
4. DISEÑO DE PAVIMENTO EMPLEANDO SOFTWARE.....	61
4.1 ESTUDIO DEL SUELO	61
4.1.1. Clasificación del suelo	62
4.1.2. Ensayo de proctor	65
4.1.3 Ensayo de CBR.....	68
4.1.4. Calculo de módulo resiliente de la sub rasante del sitio	75
4.1.5 Calculo del módulo resiliente de la subbase granular	76
4.1.6. Calculo módulo resiliente de la base granular	77
4.2 ESTUDIO DE TRÁNSITO	80
4.2.1. Transito promedio diario.....	80
4.2.2. Tasa de crecimiento del tráfico en la sección de los parqueaderos.....	81
4.3. CLIMA	82
5. RESULTADOS	86
5.1 DATOS DE SUELO INSERTADOS EN EL PROGRAMA	86
5.2 DATOS DE TRANSITO INSERTADOS EN EL PROGRAMA	88
5.3 DATOS DE CLIMA INSERTADOS EN EL PROGRAMA	89
5.4 CORRER EL PROGRAMA.	90
5.5 ANÁLISIS FINAL	91
6. CONCLUSIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA	98
ANEXOS	100

LISTA TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Procedimiento de diseño mecanístico- empirico.....	32
Tabla 2. Granulometría del proyecto.....	62
Tabla 3. Porcentajes de suelo.....	63
Tabla 4. Limite líquido	64
Tabla 5. Limite plástico.....	64
Tabla 6. Resumen de límites.....	65
Tabla 7. Resultados proctor	66
Tabla 8. Pesos a diferentes humedades.....	67
Tabla 9. Datos iniciales CBR.....	69
Tabla 10. Medidas de deformación, muestras húmedas.	69
Tabla 11. CBR a 12 golpes.	70
Tabla 12. CBR a 56 golpes.	73
Tabla 13. Transito promedio diario.....	80

LISTA DE IMÁGENES

	Pág.
Imagen 1. Estructura de un pavimento	18
Imagen 2. Inicio del Software	33
Imagen 3. Guardar diseño.....	34
Imagen 4. Nuevo diseño.	34
Imagen 5. Inicio del diseño.....	35
Imagen 6. Nuevo pavimento	36
Imagen 7. Tipo de pavimento.....	36
Imagen 8. Periodo de diseño	37
Imagen 9. Construcción base.....	37
Imagen 10. Pestaña completa de datos iniciales	38
Imagen 11. Construcción del pavimento	38
Imagen 12. Apertura de tráfico	39
Imagen 13. IRI inicial	39
Imagen 14. IRI final	40
Imagen 15. Fatiga baja.....	40
Imagen 16. Fatiga superior	41
Imagen 17. Fractura por temperatura	41
Imagen 18. Deformación Permanente	41
Imagen 19. Deformación permanente del asfalto	42
Imagen 20. Tipo de capas.....	43
Imagen 21. Añadir capa	44
Imagen 22. Sección de inserción de datos de la sub rasante.....	44
Imagen 23. Sección de inserción de datos de la base granular.....	45
Imagen 24. Estimación ancho de capa	45
Imagen 25. Tráfico	46
Imagen 26. Panel general de datos del tráfico.....	47

Imagen 27. Distribución de tráfico	47
Imagen 28. Cargar distribución	48
Imagen 29. Tipo de vía.....	49
Imagen 29.1. Panel derecho de datos tránsito.....	50
Imagen 30. Eje sencillo	51
Imagen 31. Eje Tandem	51
Imagen 32. Eje Tridem	52
Imagen 33. Eje Quad	53
Imagen 34. Clima	53
Imagen 35. Datos clima.....	54
Imagen 36. Datos estación climática.....	54
Imagen 37. Estación climática virtual	56
Imagen 38. Hora de datos climáticos	57
Imagen 39. Casillas para insertar los datos de clima	57
Imagen 40. Tabla del clima	58
Imagen 41. Error producido.....	59
Imagen 42. Panel superior	59
Imagen 43. Corriendo el programa	60
Imagen 44. Generando diseño.....	60
Imagen 45. Toma muestra	61
Imagen 46. Tabla AASHTO de clasificación de suelos.....	65
Imagen 47. Ensayo proctor	67
Imagen 48. Tabla Invias de subbase granular	76
Imagen 49. Tabla de módulo resiliente de subbase.	77
Imagen 50. CBR de la base granular.....	78
Imagen 51. Módulo resiliente de base granular.	79
Imagen 52. Crecimiento zona de parqueadero	81
Imagen 53. Ingreso del módulo resiliente subbase.....	87
Imagen 54. Módulo resiliente de la base.....	87
Imagen 55. Datos porcentaje de tránsito	88

Imagen 56. Total de vehículos	88
Imagen 57. Tipo de vía de diseño	89
Imagen 58. Datos estaciones climáticas de la universidad pontifica bolivariana - seccional Bucaramanga	90
Imagen 59. Diseño de pavimento flexible mayorado	92
Imagen 60. Diseño final del pavimento flexible	93

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Grafica 1. Proctor.	68
Grafica 2. CBR a 12 golpes.....	71
Grafica 3. CBR a 25 golpes.....	72
Gráfica 4. CBR a 56 golpes.....	74
Gráfica 5. CBR de diseño.....	75
Grafica 6. Temperatura	83
Grafica 7. Velocidad del viento.....	83
Grafica 8. Porcentaje de luz solar	84
Grafica 9. Porcentaje de humedad.....	84
Grafica 10. Precipitación	85
Grafica 11. Tabla del agua	85

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE POR MEDIO DEL SOFTWARE PAVEMENT DE AASHTOWARE Y MANUAL DE USO PRIMARIO

AUTOR(ES): Luis Carlos Cerón

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): Julián André Galvis Flórez

RESUMEN

El proyecto de grado consistió en la elaboración de un manual del software “Pavement de AASHTOWare”. Se llevó a cabo el proyecto teniendo claro el objetivo general, el cual era elaborar un manual donde explicara el paso a paso necesario para ingresar las variables y poder desarrollar un diseño de pavimento flexible. El programa, debido a su complejidad y detalle, requirió una metodología que combinara la parte práctica con la teórica; es decir, tomar medidas, cantidades y valores reales en el campo (zona de parqueo de la Universidad Pontificia Bolivariana – seccional Bucaramanga), como: granulometría, límites de Atterberg, CBR, y en la etapa de clasificación del suelo se debe hacer según la norma AASHTO (de tipo A-1, A2, etc.), se recogieron los datos de las estaciones climáticas que posee la universidad, proporcionadas por el ingeniero Juan Carlos Forero para obtener las variables de clima e insertarlos en el programa. Se tomaron los valores del tránsito de la zona en cuestión para ingresarlo al software. Con las variables claras y debidamente insertadas se procedió a correr el programa, el cual arrojó un análisis detallado de lo que está sucediendo en la estructura del pavimento planteada por el diseñador. El software maneja un modelo de diseño llamado “mecanicista empírico” el cual necesita de valores estimados para que pueda al final decir si cumplen o no; es decir que se estima el grosor de las capas de la estructura del pavimento y al finalizar el software arrojará si el ancho estimado cumple con las cargas puestas. Con el ejercicio del diseño del pavimento real se apreciaron las gráficas y resultados que mostraban una estructura de pavimento lógica de acuerdo con los datos de tránsito ingresados, características del suelo y con el tránsito promedio insertado para llegar a un diseño más óptimo.

PALABRAS CLAVES:

Diseño, Pavimento flexible, software, manual

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN BY AASHTOWARE PAVEMENT SOFTWARE AND PRIMARY USE MANUAL

AUTHOR(S): Luis Carlos Cerón

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: Julián André Galvis Flórez

ABSTRACT

The grade project consists of the elaboration of a manual of the software "Pavement of AASHTOWare". The project was carried out with the general objective clear, which was to elaborate a manual explaining the step by step necessary to enter the variables and to be able to elaborate a flexible pavement design. The program, due to its complexity and detail, required a methodology that combines the practical part with the theory; That is, that real values should be taken in the field (parking area of the Bolivarian Pontifical University - Bucaramanga Sectional), values such as: granulometry, Atterberg boundaries, CBR, and within the classification of the soil must be done according to the norm AASHTO (type A-1, A2, etc.). Data are collected from the weather stations owned by the university, provided by the engineer Juan Carlos Forero to obtain the climate variables and insert them into the program. Equally, you must take the values of the transit question to enter it into the software. With the variables clearly and properly inserted, the program is run, which gives a detailed analysis of what is happening in the pavement structure proposed by the designer. The software manages a design model called "empirical mechanic" which needs estimated values so that in the end it can say whether they comply or not; That is to say that the thickness of the layers of the pavement structure is estimated and at the end the software will throw if the estimated width meets the loads placed. With the exercise of the design of the actual pavement, the graphs and results showed a logical pavement structure according to the data of transit entered, characteristics of the ground and with the average traffic inserted to reach a more optimal design.

KEYWORDS:

Design, flexible pavement, software, manual

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

Dentro de la ingeniería civil existen muchos métodos para diseñar pavimentos flexibles, como lo son el método AASHTO, el método mecanicista, método racional, empírico, etc. Pero se ha ido progresando y avanzado en el área del diseño, luego a un método racional, y depende del gusto del nivel de complejidad y exigencia del proyecto y cuan confiado se sienta, con un método relativamente nuevo llamado literalmente “mechanistic-empirical design”, lo que traduce en diseño mecanicista empírico.

Este método tiene por objetivo ir de lo general y empírico a datos particulares y representativos en la vida real.

Conociendo el método de diseño de pavimento se procede a realizar todos los pasos, toma de datos y recaudo de información para, posteriormente insertarlos en el programa.

El propósito del proyecto de grado consistió en la elaboración del manual del software y para ellos fue necesario comenzar por resolviendo la pregunta inicial: ¿cómo elaboro un manual?, leyendo manuales de programa de ingeniería como: AutoCAD, civil 3D, SAP 2000, etc. Se pudo analizar que la función del manual es transmitir unos pasos para llevar a cabo una tarea, lo cual tiene como fin hacer más sencillo la utilización de producto, y como abre bocas se planteó un manual sistemático, que tuviera un orden claro con ideas claras explicando un paso a paso para la elaboración de un diseño de una estructura de pavimento.

La idea del progreso en cuanto a los softwares es la de minimizar el margen de error o factor de seguridad, ese “factor de seguridad” que tanto influye en el sobre dimensionamiento en todas las estructuras, debido a que como humanos solemos tener fallas, pero a medida que el progreso da un paso, cada vez más el error va disminuyendo.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Elaboración de un manual del software Pavement de AASHTO en el cual describa su uso, manejo y aplicación del programa. Como anexo se realizará un diseño de pavimento flexible para aplicar el software, con variables reales tales como: clima, tránsito, terreno, tipo de suelo, tipo de vía, propiedades mecánicas, etc. Y la aplicación de este software al diseño de la estructura de pavimento del trayecto de la entrada de vehículos al parqueadero está en terreno granular compactado.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Introducir, aprender y manejar del software Pavement de AASHTOWare para la elaboración del manual guía del programa.
- Adquisición y revisión de las variables necesarias para el diseño completo del pavimento flexible.
- Elaborar un diseño de pavimento flexible empleando el software y todas sus capacidades.
- Comparación del método de diseño con el programa AASTHO y el convencional.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 PAVIMENTOS FLEXIBLES

Imagen 1. Estructura de un pavimento



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Los pavimentos flexibles son aquellos cuya estructura se flexiona según las cargas que transitan sobre él. Están conformados por una carpeta bituminosa, generalmente, apoyada sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. Es pertinente aclarar que se puede prescindir de cualquiera de estas capas, dependiendo de los requerimientos y características de cada obra.

Según la Guía de pavimentos de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad San Simón de Bolivia, el funcionamiento de los pavimentos flexibles es el siguiente:

La distribución de tensiones y deformaciones generadas en la estructura por las cargas de rueda del tráfico, se da de tal forma que las capas de revestimiento y

base absorben las tensiones verticales de compresión del suelo de fundación por medio de la absorción de tensiones cizallantes. En este proceso ocurren tensiones de deformación y tracción en la fibra inferior del revestimiento asfáltico, que provocará su fisuración por la repetición de las cargas de tráfico. Al mismo tiempo la repetición de las tensiones y deformaciones verticales de compresión que actúan en todas las capas del pavimento producirán la formación de hundimientos en la trilla de rueda, cuando el tráfico tiende a ser canalizado, y la ondulación longitudinal de la superficie cuando la heterogeneidad del pavimento fuera significativa.¹

Las capas de un pavimento flexible se ubican en orden descendente de capacidad de carga, es decir, la capa superior soporta mayor carga y la inferior (base) tiene menor capacidad de soporte.

2.1.1 Estructura. Los pavimentos flexibles están conformados por las siguientes capas:

- Subbase granular.
- Base granular.
- Carpeta.

Cada una de estas capas tiene características y funciones concretas.

2.1.1.1 Subbase granular. La subbase granular tiene varias funciones entre las que se encuentra: impedir la penetración de materiales que conforman la base con los de la subrasante. Además, actúa como filtro de la base evitando que los finos de la subrasante la contaminen restándole calidad. La subbase debe soportar la carga de los vehículos por medio de las capas superiores y transmitirla a un nivel adecuado a la subrasante.

¹ UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN. Capítulo II: Generalidades y definiciones sobre los pavimentos [en línea]. <<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2944/Capitulo2.pdf>> [citado en 18 de junio de 2016]

Hay casos en los que esta capa debe drenar el agua que ingresa por las bermas o la carpeta, igual que le corresponde impedir la función capilar.

Una de las funciones destacadas de la subbase es de carácter económico, pues el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la subrasante sea igual o menor a su resistencia puede requerir materiales de alta calidad, lo cual implica altos costos, por ello es preferible distribuir las mejores capas en la parte superior y las de menor calidad en la inferior, así se puede generar un aumento en el espesor del pavimento a menor costo.

Asimismo, la subbase puede absorber los cambios volumétricos en la subrasante, generados por cambios en su contenido de agua o variaciones de temperatura, impidiendo que dichas deformidades se reflejen en la superficie de rodamiento.

2.1.1.2 Base granular. La base granular tiene como principal función suministrar un elemento resistente que transmita a la subbase y a la subrasante “los esfuerzos producidos por el tránsito producidos por el tránsito en una intensidad apropiada”².

2.1.1.3 Carpeta. La carpeta debe proveer una superficie estable y uniforme al tránsito, para resistir los efectos abrasivos de este. Además de eso, tiene como función impedir el paso de agua al interior del pavimento. Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del mismo.

2.1.2 Materiales:

2.1.2.1 Agregados pétreos. Los agregados pétreos son materiales granulares sólidos inertes que se obtienen como resultado de la trituración, desgaste o desintegración natural de roca o escorias siderúrgicas preparadas de forma

² MONTEJO, Alfonso. Ingeniería de pavimentos para carreteras. 2 ed. Bogotá D.C.: Ágora Editores, 2001. p.2.

apropiada para ello. Se aplican con adición de elementos activos y granulometrías adecuadas en los firmes de las carreteras. Además, se utilizan para fabricar productos artificiales resistentes, al mezclarlos con ligantes asfáltico o materiales aglomerantes de activación hidráulica. “Los agregados contribuyen a la estabilidad mecánica, soportan la carga del tráfico y al mismo tiempo transmiten la carga a la subbase a una unidad de presión considerablemente reducida.

2.1.2.2 Tipos de agregados: Los tipos de agregados pétreos son:

- Arena.
- Grava.
- Piedra triturada.
- Relleno mineral.

2.1.2.2.1 Arena. La arena es un material granular fino que se obtiene de la desintegración natural de las rocas o del triturado de agregado grueso. Existen varios tipos de arena: arena producto de viendo, arena de lago o de mar, arena de río, arena gravosa, arena de banco y arena artificial.

2.1.2.2.2 Grava. La grava se obtiene gracias a la desintegración de grandes rocas. Corresponde a partículas rocosas que oscilan entre los 2 y 64 mm. Como fuentes de abastecimiento se encuentran: los bancos de sedimentación, cauce de río, pozos secos y canteras.

2.1.2.3 Propiedades. Los suelos poseen propiedades, físicas, físico-químicas, y químicas, a continuación se explican algunas propiedades físicas y físico-químicas de los suelos.

2.1.2.3.1 Físicas. Las propiedades físicas en los suelos, son las respuestas que tiene el material antes determinadas fuerzas aplicadas sobre el tales como, resistencia, esfuerzo máximo, forma, densidad, etc.

- **Tamaño.** El tamaño se determina teniendo en cuenta el tráfico y la naturaleza de la superficie subyacente. Es pertinente considerar que el agregado de mayor tamaño presenta una mayor dificultad de fijación.
- **Forma.** La forma varía, puede ser: redondeada (menor rozamiento interno, escurrimiento y mayor tasa de ligante), laminar (fácil fragmentación), cúbicas (mayor riesgo de exudación, drenaje superficial deficiente) y poliédricas (más resistentes a la fragmentación, rugosidad, drenaje superficial adecuado, rozamiento interno elevado y condiciones superiores de fijación).

La forma de las partículas está determinada por la naturaleza de la roca, el proceso de trituración y el coeficiente de reducción en el proceso de trituración.

- **Angularidad.** Cuando se trituran cantos rodados se deben elegir tamaños que cumplan la relación:
 - Dimensión máxima del canto / Dimensión máxima del agregado.
- **Dureza.** La dureza del agregado influye en la resistencia del concreto. “Los agregados deben ser de piedra triturada, cascajo o guijarros rodados triturados”³.
- **Porosidad.** Para una penetración apropiada del ligante es beneficiosa una pequeña porosidad, así aumenta la resistencia al desprendimiento de la película de ligante bajo la acción del agua.

³ FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN. Texto guía – pavimentos. 2004. [en línea]. <<https://es.scribd.com/doc/100029576/Libro-de-Pavimentos>> [citado en 18 de junio de 2016]

2.1.3 Densidad. Las partículas del agregado están conformadas por: masa del agregado, poros permeables (vacíos que se comunican con la superficie) y poros impermeables (vacíos que no se comunican con la superficie).

2.1.3.1 Densidad real. La densidad real corresponde a la “masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, excluyendo sus poros permeables o saturables y los no saturables o impermeables”.

2.1.3.2 densidad nominal. La densidad nominal corresponde a la “masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, excluyendo únicamente los poros saturables”⁴.

2.1.3.3 Densidad aparente. La densidad aparente corresponde a la “masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, incluyendo tanto poros permeables o saturables como poros impermeables o no saturables”⁵.

2.1.3.4 Físico – químicas:

2.1.4 Adherencia. La adherencia es esencial para que los agregados sean cubiertos por el ligante y “para que la película del ligante tenga suficiente resistencia para evitar su desprendimiento por la acción combinada del agua y el tráfico”⁶.

2.1.5 Alterabilidad. La alterabilidad hace referencia a los procesos de descomposición a los que están sujetos los agregados, debido a que están expuestos a la intemperie y a la acción conjunta de los agentes atmosféricos y al tráfico.

⁴ MONTEJO. Op.cit., p.401

⁵ Ibíd., p.401

⁶ FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN. Op.cit., p.76

2.2 ESTUDIO DE SUELOS

El estudio de suelos es lo esencial en cualquier obra civil, no puede edificarse ninguna obra sin antes saber el estudio técnico del suelo. El análisis y clasificación de suelos es una ciencia denominada geotecnia, esta ciencia y rama de la ingeniería que estudia el suelo y define su capacidad portante. Los suelos pueden tener varias clasificaciones y dependiendo de esta clasificación se pueden determinar las propiedades mecánicas y físicas del mismo para llevar a cabo los diseños de la superestructura.

2.2.1 Tipos de suelos⁷:

2.2.1.1 Arcillas. Las arcillas se pueden dividir en arcillas modernas y antiguas. Las modernas (diluviales y aluviales) suelen proceder de la sedimentación en los cauces de avenida de los ríos o en los deltas de los mismos. Son con frecuencia muy heterogéneas con capas de diferente composición y consistencia, estas suelen estar muy húmedas debido al tiempo transcurrido desde su deposición y sobre todo por su situación, próximas al nivel del agua, la capa superior se encuentra a veces endurecida por la desecación en un espesor de algunos metros, lo cual puede inducir a error en una apreciación superficial del terreno. Las arcillas antiguas están fuertemente pre consolidadas por estratos que han sido posteriormente erosionados por la presión consecutiva a los trastornos geológicos o por la desecación.

2.2.1.2 Limos. Proceden de depósitos fluviales en cauces o desembocaduras de los ríos, su cohesión es pequeña y en ocasiones también su rozamiento interno, son relativamente permeables y se dejan penetrar rápidamente por el agua. El aspecto de un limo es muchas veces parecido al de una arcilla, pero se distinguen aun sin

⁷ JIMÉNEZ, José A. Tipos de suelos. En: mecánica del suelo y sus aplicaciones a la ingeniería. Madrid. Editorial DOSSAT, S.A. 1954. p. 126-132.

ensayos de laboratorio de varias maneras. Una de ellas se basa en la diferencia en la cohesión del suelo desecado, que es mucho mayor en las arcillas.

2.2.1.3 Arenas. Con su elevado rozamiento interno y su escasa compresibilidad, las arenas constituyen con frecuencia un terreno ideal para el ingeniero. Hay que protegerlas cuidadosamente, sin embargo, de la erosión interna y externa. Existen terrenos arenosos que experimentan asentamientos progresivos y constantes y que pueden ser también peligrosos si las circunstancias hidrológicas pueden dar nacimiento al fenómeno de arenas vivas.

2.2.1.4 Gravetas. Estos suelos no suelen presentar más problemas de Mecánica de suelos, que los derivados de su permeabilidad. La acumulación de grandes trozos de roca en forma de mar de bloques proviene, en unos casos de la erosión progresiva de una roca fisurada o de desigual resistencia.

2.2.2 Clasificación de suelos. Existen varios métodos para la calificación del suelo, pero para fines de este proyecto y por el software de diseño se empleará el método AASHTO.

2.2.2.1 Clasificación de suelos por el método AASHTO. La clasificación de suelos AASHTO es una clasificación americana la cual propone unos grupos de clasificación que son: A-1; A-1-a, A-1-b, A-3, A-2-4; A-2-5, A-2-6, A-2-7, A-4, A-5, A-6, A-7; A-7-5 y A-7-6. Cada una de estas clases de suelo tiene unas propiedades específicas, con sus características mecánicas y físicas particulares.

Para llevar a cabo esta clasificación es necesario hacer ensayos de granulometría, dependiendo la cantidad retenida en los tamices se va clasificando el suelo.

Después de la granulometría se deben hacer los límites líquidos y plásticos para poder ingresar con esos datos en la tabla. Cuando hablamos del grupo A-1, son

suelos granulares con porcentaje mayor de gravas. Los suelos A-3 suelen ser arenas finas, los suelos A-2 son las arenas y gravas con una mayor cantidad de suelos finos y por eso poseen límites plásticos y líquidos, los suelos A-4, A-5, A-6, A-7 son los suelos más finos como las arcillas y limos los cuales poseen unos límites líquidos más altos al igual que los límites plásticos y el índice de grupo mayor.

2.2.2.1.1 Granulometría. El proceso de granulometría consiste, en la separación del suelo a estudiar mediante tamices de diferentes tamaños. Dependiendo del porcentaje retenido de suelo en cada, se procede a pesarlo para su clasificación. Los tamices necesarios para la calificación de los suelos son:

75 mm (3")
50 mm (2")
37.5 mm(1-1/2")
25 mm (1")
19.0 mm (3/4")
9.5 mm (3/8")
4.75 mm (No.4)
2.00 mm (No.10)
850 μm (No.20)
425 μm (No.40)
250 μm (No.60)
106 μm (No.140)
75 μm (No.200)

Con estos tamices se procede a la agitación y separación del suelo para anotar los resultados y clasificar el suelo.

2.2.2.1.2 Limite líquido.⁸ El límite líquido es el contenido de agua el punto de transición de estado semisólido a plástico. De manera resumida, es el contenido de agua que se requiere adicionar al suelo que posteriormente se coloca en la cazuela de Casagrande, se ranura en el centro y se deja caer a razón de 2 golpes por segundo. Se somete a 25 golpes y la ranura debe cerrarse una distancia de 12.7 mm en el fondo.

2.2.2.1.3 Limite plástico. El limite plástico se define como el contenido de agua, en porcentaje, con el cual el suelo, al ser enrollado en rollitos de 3.2 mm de diámetro, se desmorona. El límite plástico corresponde al promedio de las humedades. Índice de plasticidad: es la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico de un suelo.
 $IP = LL - LP$

2.3 ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

Mediante el ensayo de proctor modificado se calcula la masa unitaria seca y con ellos el porcentaje de humedad óptimo del suelo. Con el porcentaje óptimo del suelo se pueden hacer diferentes ensayos necesarios para un buen estudio del suelo.

El procedimiento de proctor consiste en la compactación a 56 golpes de una masa inicial de suelo (usualmente para suelos granulares es de 5900g). Como ya se tiene el límite líquido de la fracción fina del suelo, se procede a la compactación de la muestra. Se debe variar el porcentaje de humedad para el ensayo de proctor modificado y se debe tener el equipo especificado en la norma INV E- 142. Con el martillo se compacta el suelo con el porcentaje inicial de agua, se debe ir compactando por capas (5 capas) y una vez esté terminada la compactación se debe quitar la aureola superior, enrazar y pesar con el molde la muestra. Una vez

⁸ BRAJA M, DAS. Consistencia del suelo. En: fundamentos de ingeniería geotécnica. México.2001. p.27-29.

pesada la muestra se debe incrementar el porcentaje de humedad aproximadamente en un 4% y se vuelve a realizar el procedimiento. Este proceso se repetirá las veces necesarias hasta que el peso de la muestra y el molde sea menor que la última tomada.

Una vez terminada la práctica se extrae una porción del material para ser pesado y luego secado en el horno para el cálculo de la densidad seca máxima. Con estos datos se debe elaborar una gráfica de humedad vs peso de la muestra humedad y de ahí se extrae el valor máximo de humedad.

Con lo anterior se calcula la razón de compactación (RC) mediante la fórmula:⁹

$$RC = 1 - [(\text{Log}(\text{LLcorregido}) - 0,64) / 4.4]$$

Posteriormente se calcula la densidad de equilibrio (ρ_a) y la formula queda así:

$$\rho_a = RC * (\rho_{dm} - \rho_{dl}) + \rho_{dl}$$

Con la densidad de equilibrio se calcula la humedad de equilibrio W_a , mediante la expresión:

$$W_a = 100/\rho_a - 100/\rho_{dm} + W_o$$

Con la humedad de equilibrio o también llamada humedad optima se proceden a realizar más estudios relevantes al suelo, como el CBR.

2.3.1. CBR. El Ensayo CBR viene de las siglas “California bearing ratio” lo cual significa, relación de carga del suelo realizado por la máquina de california. El

⁹ COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Determinación de los valores de equilibrio de la masa unitaria seca y de la humedad del suelo de la subrasante (I.N.V. E – 146 – 13).

ensayo tiene como objeto calcular la capacidad que el suelo puede soportar y de transferir cargas al suelo.

A medida que se va realizando el estudio de suelos, se toma la humedad óptima descrita en el numeral 4.2. y en el ensayo se debe efectuar con tres humedades, la óptima, una humedad por encima y otra por debajo. Se prosigue a compactar las muestras; 3 cilindros, cada muestra con diferente número de golpes de compactación, a 12 golpes, 25 y 56. Se compactan 5 capas con el número de golpes propuesto. Una vez compactado el material se deja sumergido hasta el día siguiente donde se procede a aplicar una carga sobre las muestras. El cilindro que ejerce la fuerza tiene una velocidad definida por la norma y se debe tomar el valor de la carga cada 0,025 pulgadas hasta tener un compendio de datos suficientes para elaborar la gráfica de CBR y entrar con la densidad óptima y hallar el valor de CBR de diseño. Para el cálculo del CBR se deben aplicar ciertas formulas:

Calculo de la densidad seca antes de la inmersión:¹⁰

$$\rho_d = M_{sac} / V_m$$

donde Msac es la masa seca del suelo al ser compactado en el molde. Y para hallar el Msac se debe aplicar la siguiente formula:

$$M_{sac} = (M_{mws} - M_m) / (1 + W_{ac})$$

Donde:

- M_{mws} : masa húmeda del suelo compactado más la masa del molde. (en gramos o Mg)
- M_m : masa del molde.

¹⁰ COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestras inalteradas. (I.N.V. E – 148 – 13).

- W_{ac} : Contenido de agua de porciones representativas tomadas durante el proceso de compactación de cada molde.
- V_m : volumen del molde. En m^3 o cm^3

2.4. TRANSITO¹¹

Para el dimensionamiento de los pavimentos las cargas más pesadas por eje (simple, tándem etc.) esperadas en el carril de diseño durante el periodo de diseño adoptado la repetición de las cargas del tránsito y la consecuente acumulación de deformaciones sobre el pavimento (fatiga) son fundamentales para el cálculo. Se deben tener en cuenta también, las máximas presiones de contacto, las sollicitaciones tangenciales en tramos especiales, las velocidades de operación de los vehículos, la canalización del tránsito, etc.

2.5. CLIMA

De los factores importantes que resultan ser determinantes para el diseño de estructuras de pavimento es el clima, los cambio de temperatura son muy influyentes para saber qué tipo de pavimentos seleccionar; por ejemplo en zonas de altas temperaturas es más viable aplicar estructuras de pavimento rígido ya que su deformación al calor no es tanta como la del asfalto, también la cantidad de agua que se precipita ya que el agua es de lo que más se debe contemplar en el diseño, un buen drenaje asegurará una reducción en los daños en la capa superior.

¹¹ MONTEJO, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos, capítulo 1.5.1, pág. 8. 1997. Disponible en: <https://samustuto.files.wordpress.com/2014/09/ingenieric3ada-de-pavimentos-para-carreteras-tomo-i-ed-3ra-alfonso-montejo-fonseca.pdf>

Las lluvias elevan el nivel freático de la zona lo cual influye directamente en la resistencia del mismo suelo, la compresibilidad y los cambios en la subrasante que es la más sensible al agua.

Es importante aclarar que se debe tener muy en cuenta las variaciones climáticas de la región para el diseño de la estructura de pavimento.

2.6 MÉTODO DE DISEÑO MECANICISTA EMPÍRICO¹²

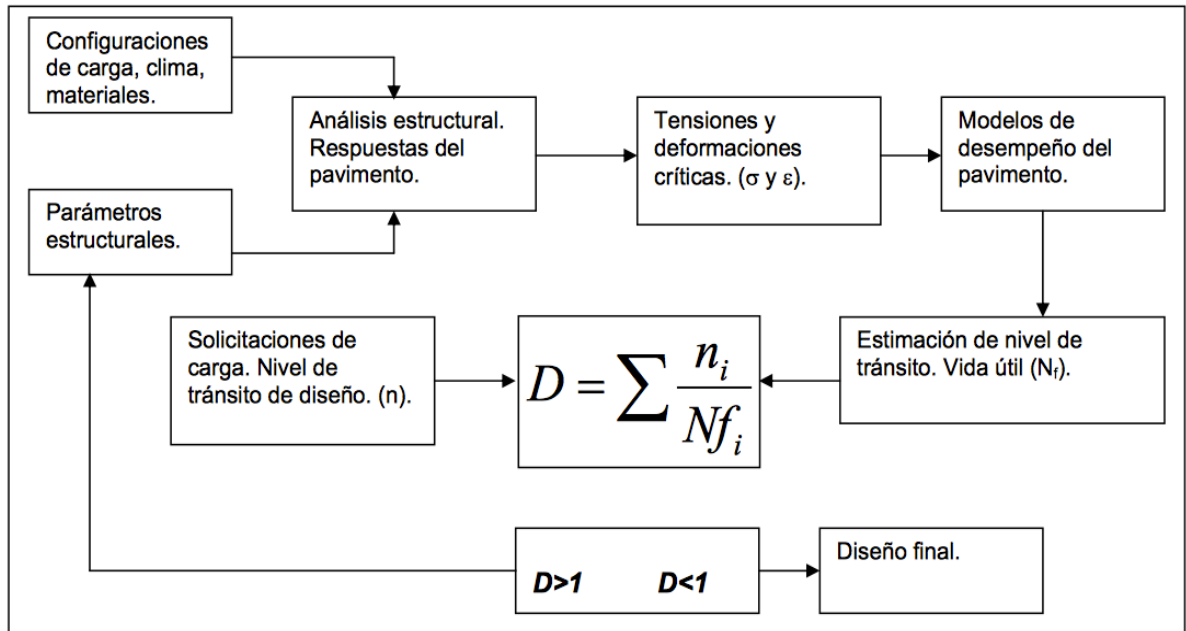
Este procedimiento de diseño estructural de capas de pavimento se basa en el análisis mecanístico para escoger una combinación de espesores y materiales con el fin de suministrar el nivel de servicio deseado de acuerdo con el tránsito esperado. Los elementos del procedimiento de diseño mecanístico abarcan además los efectos climáticos, el modelo estructural y la respuesta del pavimento, la caracterización de los materiales, las funciones de transferencia y el análisis del comportamiento para concluir con el proceso de selección del sistema de pavimento a construir.

El modelo mecánico se basa en la teoría de multicapa elástica o elemento finito y determina las reacciones del pavimento a la carga de las ruedas en términos de esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones (σ , ϵ , Δ). La parte empírica del diseño utiliza las reacciones del pavimento para predecir la vida del mismo basada en observaciones hechas en campo. Así, el término “empírico” se debe a la definición de las funciones de transferencia a partir de datos reales.

En la tabla a continuación se muestra el resumen de lo que es el diseño mecanicista-empírico.

¹² UNIVERSIDAD DE COSTA RICA. LANME. Nueva Guía de diseño mecanicista empírica para pavimentos. Autor: Ing. LEIVA VILLACORTA, Fabricio. 2002. Disponible en: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/autores/leiva/leiva-06.pdf>

Tabla 1. Procedimiento de diseño mecánico-empírico.



Fuente: LEIVA VILLACORTA, Fabricio. Nueva Guía de diseño mecánico empírico para pavimentos. 2002. Disponible en: Universidad de costa rica, laboratorio LANME, <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/autores/leiva/leiva-06.pdf>

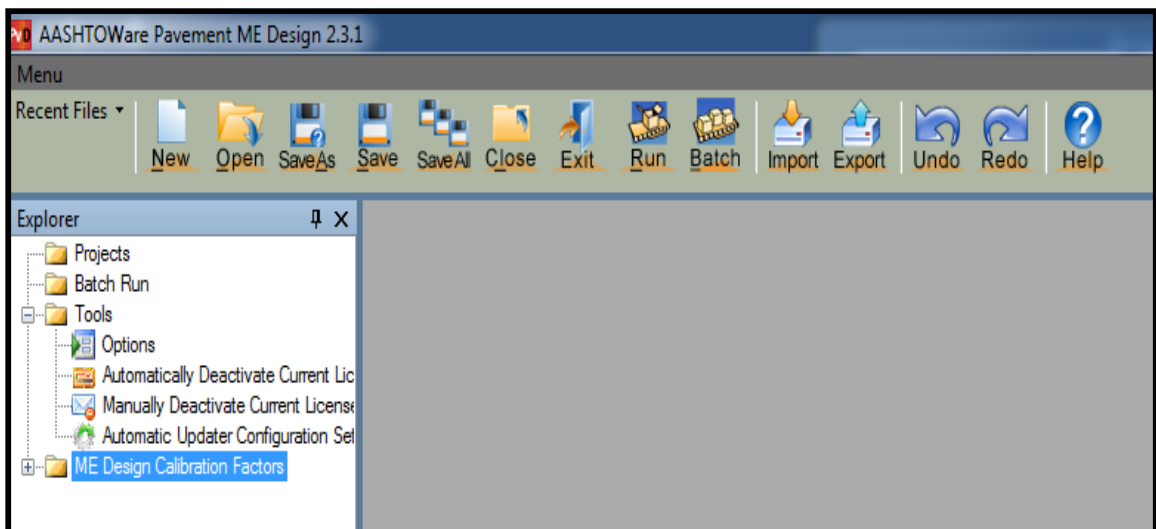
3. ELABORACIÓN DE MANUAL

3.1 MANUAL DEL SOFTWARE PAVEMENT DE AASHTO

3.1.1 Inicio del programa. El primer paso es tener instalado el software y asegurarse que los requerimientos del mismo estén en el equipo seleccionado para llevar a cabo el diseño del pavimento¹³ (están las especificaciones técnicas que debe poseer el equipo donde se instalará el programa). Una vez el computador tenga el procesador necesario y todo al día se procede al inicio y apertura del programa.

Al abrir el programa tendrá como inicio una plataforma como en la imagen 2. Así es como se inicia el programa para comenzar el paso a paso del diseño de la estructura de pavimento.

Imagen 2. Inicio del Software



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

¹³ AASHTOWare. Hardware and Software Requirements. System Requirements. 2010. Disponible en: <http://www.aashtoware.org/Pavement/Pages/Hardware-Software-Requirements.aspx>

3.2 NUEVO DISEÑO

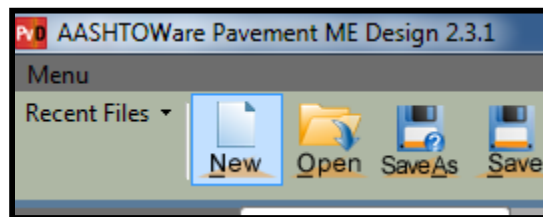
Para empezar a crear un nuevo diseño de pavimento se debe oprimir el icono de “NEW” mostrado en la imagen 3. Una vez se genere el nuevo modelo se debe crear una carpeta nueva para que se pueda guardar el proceso; se sugiere que sea en el escritorio por cuestiones de comodidad a la hora de buscar el archivo para la modificación o revisión del proceso o en el disco D donde no se vaya a eliminar o extraviar. (Ver Imagen 4).

Imagen 3. Guardar diseño



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Imagen 4. Nuevo diseño.



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

3.3 INGRESO DE DATOS

Imagen 5. Inicio del diseño.

The screenshot displays the AASHTOWare Pavement software interface. On the left, the 'General Information' section includes dropdown menus for 'Design type' (New Pavement), 'Pavement type' (Flexible Pavement), 'Design life (years)' (20), 'Base construction' (May 2018), 'Pavement construction' (June 2019), and 'Traffic opening' (September 2019). Below these are buttons for 'Add Layer' and 'Remove Layer'. The main area shows a cross-section of pavement layers. On the right, the 'Performance Criteria' table lists various metrics with their respective limits and reliability values.

Performance Criteria	Limit	Reliability
Initial IRI (n/mile)	63	
Terminal IRI (n/mile)	172	90
AC top-down fatigue cracking (ft/mile)	2000	90
AC bottom-up fatigue cracking (% lane area)	25	90
AC thermal cracking (ft/mile)	1000	90
Permanent deformation - total pavement (in)	0.75	90
Permanent deformation - AC only (in)	0.25	90

Below the table, the 'AC Layer Properties' section is expanded, showing the following settings:

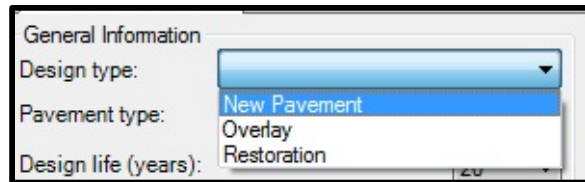
- AC surface shortwave absorptivity: 0.85
- Layer interface: Full Friction Interface
- Endurance limit (microstrain): 100
- Is endurance limit applied?: False
- Uses multi-layer rutting calibration: False

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Una vez generado el nuevo proyecto, aparecerá una pestaña como lo muestra la imagen 5. En esta imagen aparece el tipo de pavimento que se quiere diseñar, si es un pavimento nuevo, o una mejora a una estructura de pavimento anterior y otros pasos que se explicarán a continuación.

3.3.1 Seleccionar tipo de diseño. Para seleccionar el tipo de diseño se debe saber el tipo de pavimento que va a emplear en el proyecto futuro y el cual se modelará a través del software. Se debe dar clic en la pestaña de “tipo de diseño”; como se muestra en la imagen 6, y se selecciona la de nuevo pavimento. Esta pestaña también tiene la opción de rehabilitación de un pavimento y de añadidura de una o más capas encima a una estructura de pavimento ya construida.

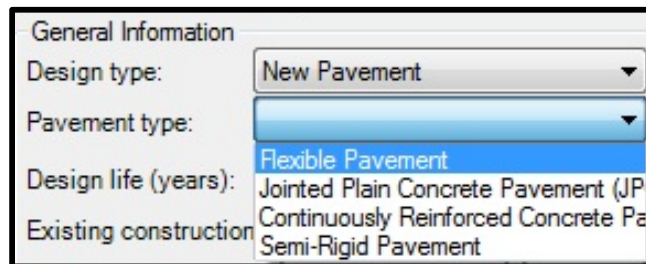
Imagen 6. Nuevo pavimento.



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

3.3.2 Seleccionar el tipo del pavimento. Una vez seleccionado “nuevo pavimento” se debe seleccionar en la siguiente pestaña el tipo de pavimento a diseñar; hay varios tipos: flexible, rígido no continuo (por bloques unidos por dovelas), rígido continuo y semi-rígido (rígido y flexible). Para este manual se seleccionará la opción de pavimento flexible como se muestra en la imagen 7.

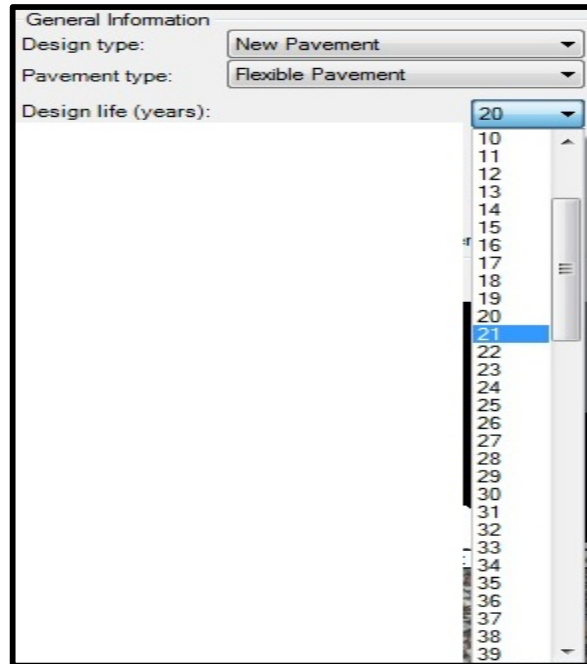
Imagen 7. Tipo de pavimento.



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

3.3.3 Seleccionar el periodo de vida del proyecto en “Design life (years)”. En la siguiente pestaña se debe seleccionar el periodo de diseño del pavimento, es software maneja un rango bastante amplio, de 1 año hasta 100 años de periodo de diseño. Para seleccionar esta opción se da clic en la pestaña de “design life” o periodo de diseño y se selecciona el número de años del diseño. Imagen 8.

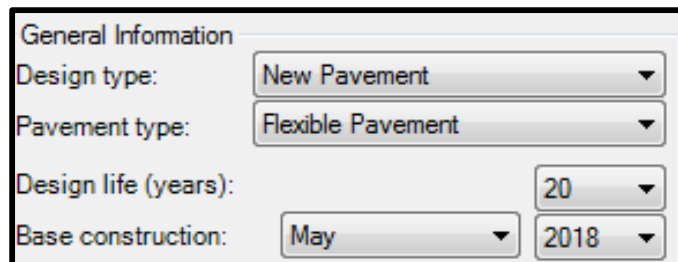
Imagen 8. Periodo de diseño.



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

3.3.4 Seleccionar la fecha de la construcción base. La fecha de construcción base (Base construction) es la fecha en la cual se va a dar inicio a la obra con excavaciones y movimientos de tierra, es decir la fecha en la cual se comienza el proceso constructivo. Para seleccionar la fecha se debe dar clic en la pestaña y esta muestra el año y el mes a seleccionar como lo muestra la imagen 9.

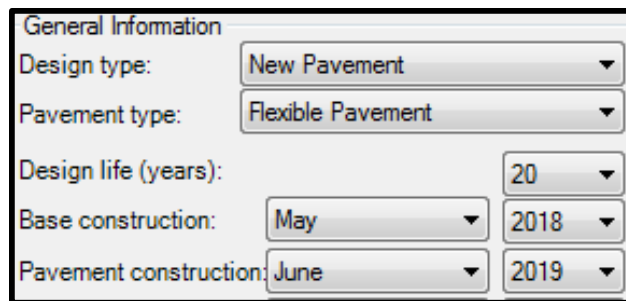
Imagen 9. Construcción base.



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

3.3.5 Seleccionar la fecha de la construcción del pavimento. De igual forma se debe introducir una fecha de construcción del pavimento (a fundir la carpeta de rodadura) la fecha de la construcción de la estructura del pavimento; a diferencia de la otra esta hace referencia a las capas de la estructura, la anterior solo era el alistamiento del terreno. Se debe introducir el mes y el año de la construcción del pavimento como lo muestran las imágenes 10 y 11.

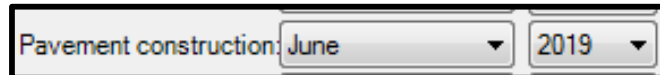
Imagen 10. Pestaña completa de datos iniciales.



General Information			
Design type:	New Pavement		
Pavement type:	Flexible Pavement		
Design life (years):		20	
Base construction:	May	2018	
Pavement construction:	June	2019	

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Imagen 11. Construcción del pavimento.

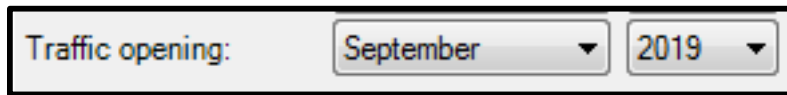


Pavement construction:	June	2019
------------------------	------	------

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

3.3.6. Seleccionar la fecha de apertura del tráfico. El programa incluye también una pestaña para insertar la fecha de la apertura del proyecto, de la estructura de pavimento. Se debe introducir el mes y el año de apertura como muestra la imagen 12.

Imagen 12. Apertura de tráfico



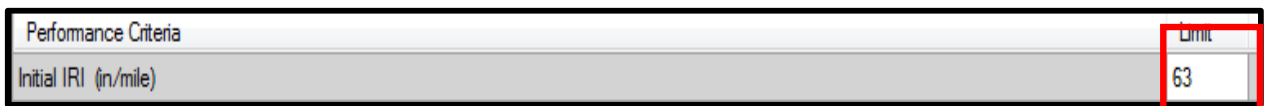
Traffic opening:	September ▼	2019 ▼
------------------	-------------	--------

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Nota: el software Pavement trae los datos llenos en el programa por default. Los datos existentes como algunos coeficientes y rangos están según la norma AASHTO americana por lo cual si se va a emplear en un diseño en Colombia o en otro país se debe tener en cuenta los coeficientes de cada país según su normatividad.

3.3.7 Insertar el IRI inicial. Una vez insertado los datos iniciales se procede a ingresar datos ya más técnicos. Los datos a ingresar son el IRI (International roughness index o índice internacional de rugosidad), el programa tiene por default un IRI de 63 in/mile (pulgada por milla) pero el diseñador debe ingresar el índice respectivo de su país o según el que le exija la norma vigente en el momento de diseñar. Se inserta en la casilla mostrada en la imagen 13.

Imagen 13. IRI inicial



Performance Criteria	Limit
Initial IRI (in/mile)	63

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

3.3.8. Insertar el IRI final. Ahora se inserta el valor del IRI final de la misma forma y con las mismas recomendaciones del IRI inicial. Para esta entrada de datos aparece una casilla que se llama “Reliability” que significa confiabilidad, el programa tiene este valor por default en 90 y se da en porcentaje; es decir que tiene de

confiabilidad el 90% del valor final del IRI. El porcentaje de confiabilidad se puede cambiar según el criterio del diseñador. En la imagen 14 muestra lo anterior.

Imagen 14. IRI final

Performance Criteria	Limit	Reliability
Initial IRI (in/mile)	63	
Terminal IRI (in/mile)	172	90

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

3.3.9. Insertar el valor de fatiga de agrietamiento de arriba hacia abajo. Se debe insertar el valor de fatiga superior del pavimento en ft/mile (pies por milla). Este coeficiente puede variar también dependiendo de la normatividad de donde se esté diseñando, ver imagen 15

Imagen 15. Fatiga baja

Performance Criteria	Limit	Reliability
Initial IRI (in/mile)	63	
Terminal IRI (in/mile)	172	90
AC top-down fatigue cracking (ft/mile)	2000	90

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

3.3.10. Insertar el porcentaje de fatiga de abajo hacia arriba. Después de haber insertado el coeficiente o índice de fatiga superior se debe insertar el porcentaje de fatiga de la capa o parte inferior de la estructura del pavimento y también debe estar dentro de lo permitido en la norma, ver imagen 16.

Imagen 16. Fatiga superior

Performance Criteria	Limit	Reliability
Initial IRI (in/mile)	63	
Terminal IRI (in/mile)	172	90
AC top-down fatigue cracking (ft/mile)	2000	90
AC bottom-up fatigue cracking (% lane area)	25	90

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

3.3.11. Insertar el valor de agrietamiento por temperatura. Ahora se debe insertar el coeficiente de agrietamiento por temperatura, y se debe insertar en ft/mile (pies por milla). Este coeficiente puede ser obtenido de los experimentos de laboratorio o los requeridos en la norma de donde se hará el diseño. En la imagen 17 esta primero el índice o coeficiente y el cuadro de al lado es la confiabilidad.

Imagen 17. Fractura por temperatura

AC thermal cracking (ft/mile)	1000	90
-------------------------------	------	----

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

2.3.12. Insertar la deformación máxima en todo el pavimento. Se procede a inserta el valor máximo permitido de deformación máximo de toda la estructura del pavimento junto con su confiabilidad. Este valor hace referencia a la deformación máxima que puede llegar sin fallar (sin empezar a presentar comportamientos inelásticos). En la imagen 18 se muestra las casillas de entrada de deformación máxima y confiabilidad respectivamente.

Imagen 18. Deformación Permanente

Permanent deformation - total pavement (in)	0.75	90
---	------	----

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

3.3.13. Insertar deformación máxima de la carpeta de rodadura. Ahora insertar la deformación máxima pero solo en la carpeta de rodadura (deformación máxima en la capa de asfalto) igual a los valores insertados anteriormente se debe tener muy presente la normatividad de la región ya que si no se inserta el programa asume un valor default que puede ser muy diferente al debido. Sus unidades están en “Inches” (pulgadas), se puede apreciar en la imagen 19 la entrada del valor y el cuadro general de los coeficientes previamente insertados.

Imagen 19. Deformación permanente del asfalto.

Performance Criteria	Limit	Reliability
Initial IRI (in/mile)	63	
Terminal IRI (in/mile)	172	90
AC top-down fatigue cracking (ft/mile)	2000	90
AC bottom-up fatigue cracking (% lane area)	25	90
AC thermal cracking (ft/mile)	1000	90
Permanent deformation - total pavement (in)	0.75	90
Permanent deformation - AC only (in)	0.25	90

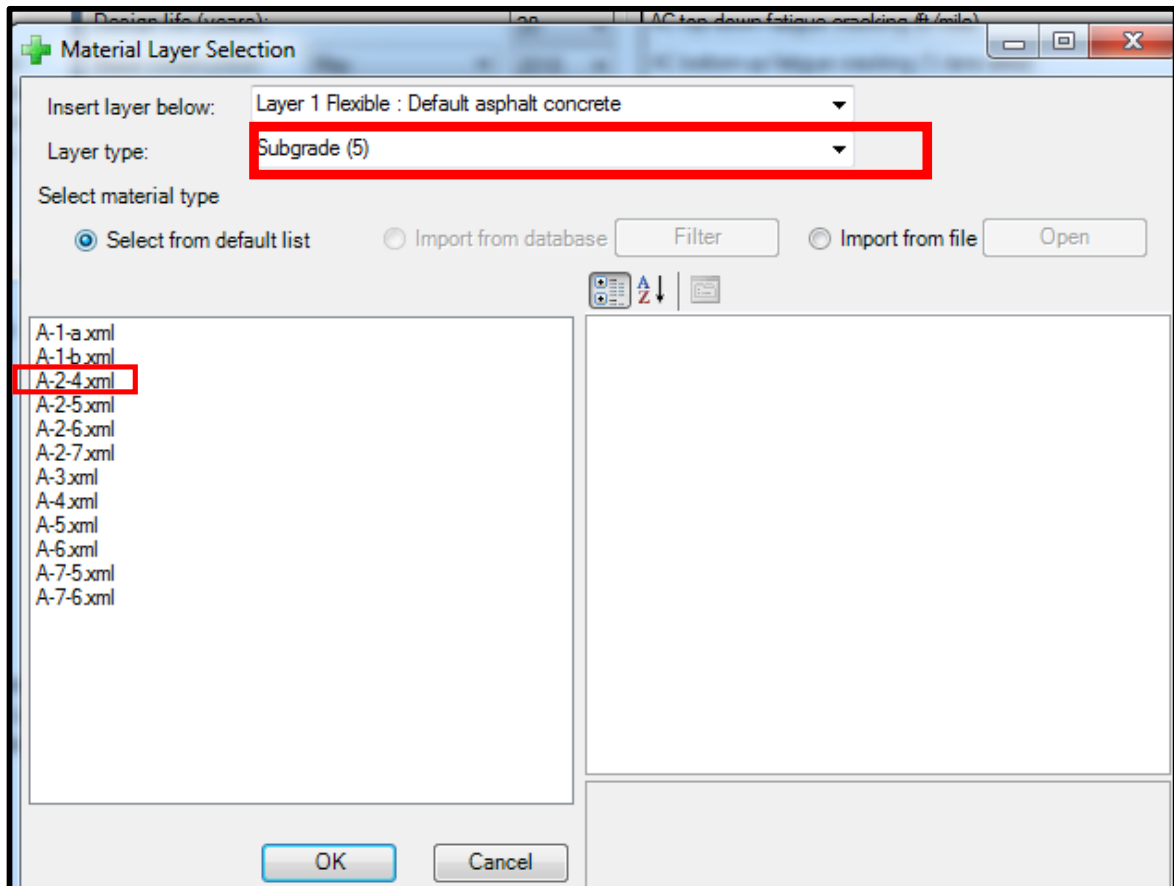
Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Nota: Es importante tener en cuenta las unidades de los datos de entrada, todo el programa maneja unidades inglesas (pulgadas, pies, millas) y deben ser debidamente transformadas para no tener problemas con los cálculos internos del software.

3.3.14 Añadir capas de la estructura del pavimento. Una vez insertado los datos previos se procede a añadir las capas propuestas para el proyecto. Dependiendo de qué tan grande sea el proyecto y según el número de vehículos se añaden las capas (layers) de la estructura del pavimento. Cuando se van a añadir aparecen los tipos de capas según la denominación AASHTO de los suelos; por ejemplo, un suelo “A-1a” o “A1b”, se debe tener en cuenta las propiedades de dichas capas. El

programa trae las características mecánicas de cada capa para agregar. También los valores de las capas de puede modificar como los límites líquido y plástico, y se escogerán según el criterio del diseñador. Ver imagen 20.

Imagen 20. Tipo de capas

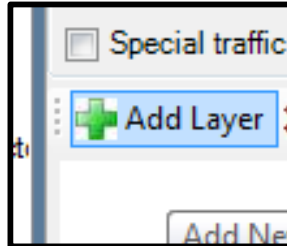


Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

3.3.15. Insertar las capas de la estructura del pavimento. El software trae por default una capa de pavimento ya pre establecido, sin embargo, cada detalle de esa capa de pavimento es modificable. Para añadir una capa de pavimento se le da clic en “add layer” (añadir capa) como muestra la imagen 21 y en la imagen 22. Dependiendo del diseño que se plantee se pueden ingresar sub bases, bases y roca

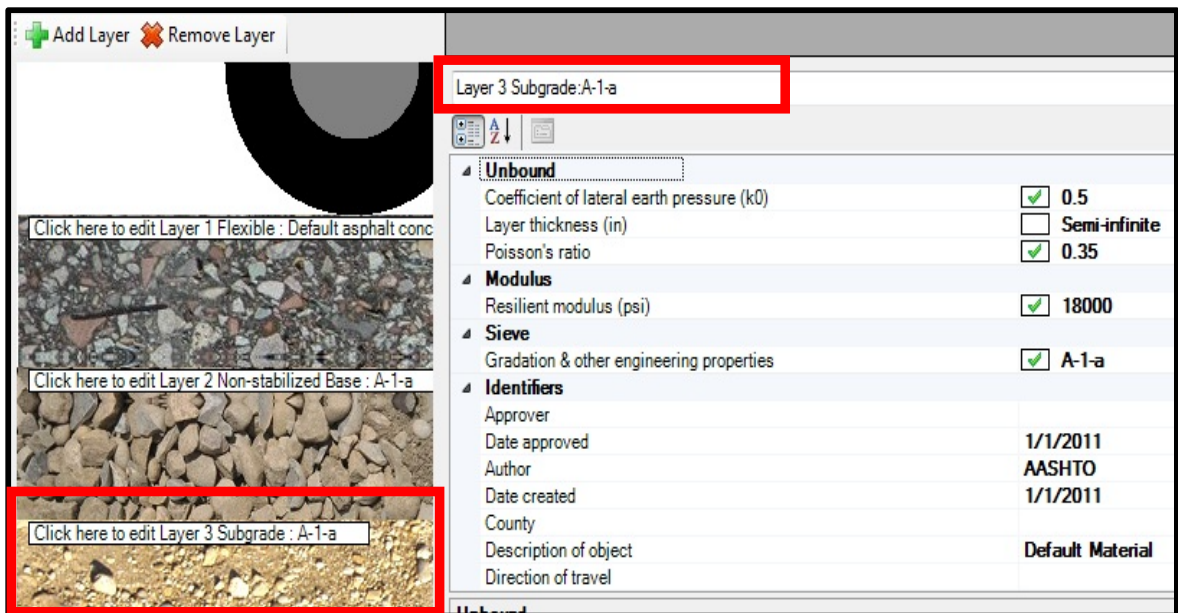
madre, sub rasante o tipo de suelo. En la imagen 22 y 15 se muestran los tipos de sub base, en la imagen 23 se muestran los datos a insertar de la base.

Imagen 21. Añadir capa



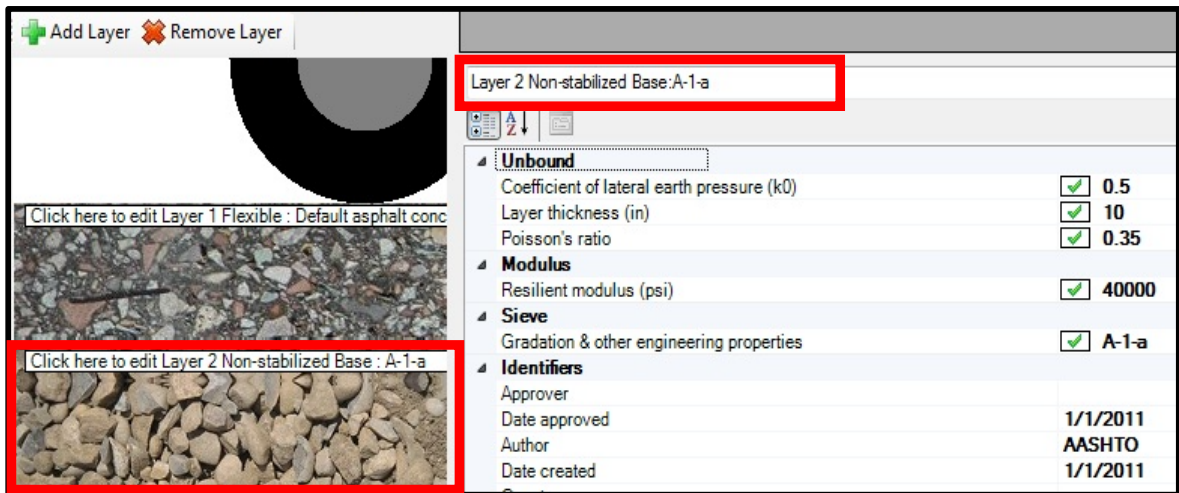
Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Imagen 22. Sección de inserción de datos de la sub rasante



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Imagen 23. Sección de inserción de datos de la base granular.



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

En las imágenes anteriores se observan datos los cuales son bastante relevantes, se muestra un módulo resiliente; en la base es 40000 psi como muestra la imagen 4.17 y 18000 psi en la sub base. En la casilla de “layer thinkness” (en pulgadas) es el grosor de la capa estimado, como el valor empírico del ancho de la capa, como se muestra en la imagen 4.19. Se le debe introducir el valor estimado a cada capa; es decir, a la capa de asfalto también se le modifica el grosor y los módulos y coeficientes según lo estimado por cada país o región de diseño.

Imagen 24. Estimación ancho de capa.

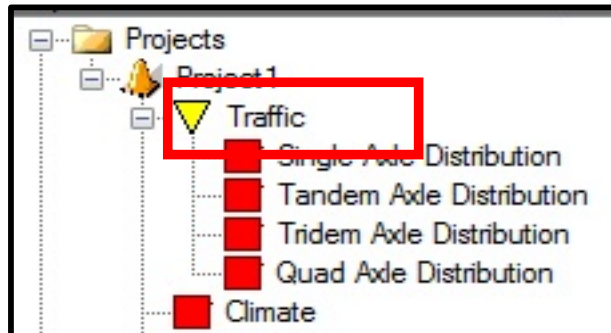


Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Nota: Es importante aclarar que el programa es para diseño de pavimentos por el método mecano-empírico, es decir que tiene parte racional y parte empírica y en este caso se aprecia al suponer como diseñador el grosor de la capa. El mismo programa más adelante cuando se corra va a mostrar si el grosor que se estimó cumple y sirve para las cargas aplicadas.

3.3.16. Insertar valores de tránsito. Una vez especificado los valores base y características del pavimento y estructura del mismo (capas, módulos, coeficientes), se procede a insertar los valores de tránsito, sus promedios, distribuciones por carriles, ajustes por mes, etc.

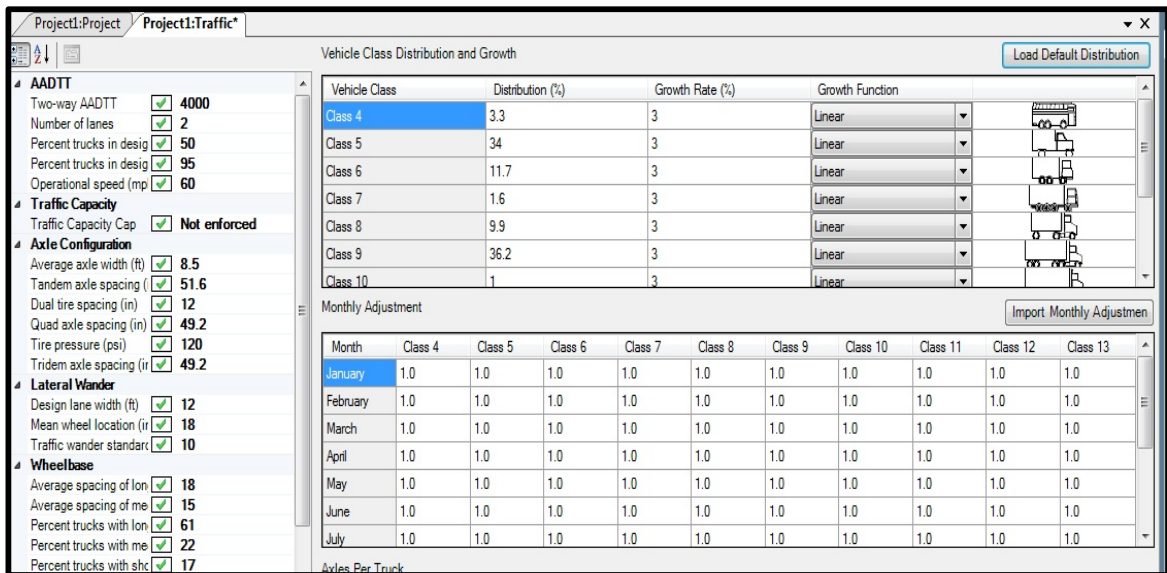
Imagen 25. Tráfico.



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Como muestra la imagen 25, se le debe dar clic en el botón de “traffic” (trafico) y desplegará una pestaña como esta en la imagen 26.








Imagen 26. Panel general de datos del tráfico.



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Como muestra la imagen anterior, hay dos secciones, la de la izquierda; que son los datos e información de la vía como el número de carriles, porcentaje de camiones, velocidad de operación de la vía. Posteriormente se explicará cada casilla. En el recuadro de la derecha se muestra una clasificación de los vehículos para el diseño.

Imagen 27. Distribución de tráfico.

Vehicle Class	Distribution (%)	Growth Rate (%)	Growth Function	
Class 4	3.3	3	Linear	
Class 5	34	3	Linear	
Class 6	11.7	3	Linear	
Class 7	1.6	3	Linear	
Class 8	9.9	3	Linear	
Class 9	36.2	3	Linear	
Class 10	1	3	Linear	

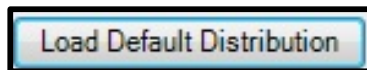
Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

En la imagen 27 muestra la ventana para ingresar los porcentajes de los vehículos de la vía; es decir la cantidad de vehículos según el estudio de tránsito hecho previamente, empieza desde el tipo 4 que son; buses hasta los camiones grandes de clase 13 (el software no tiene automóviles, ni motos ya que está enfocado en estructuras grandes y de mucha carga, además que las clases menores a 4 no le hacen mayor daño o afectación a la estructura de pavimento).

Se inserta el porcentaje, después el porcentaje de crecimiento (Grow rate) y luego se selecciona la pestaña que dice “linear” y se ajusta el crecimiento a linear o exponencial. El crecimiento depende del lugar donde se vaya a diseñar y de la información que se tenga para hacer la proyección.

En la parte superior hay una pestaña que dice “Load default distribution”, que significa cargar valores predeterminados de distribución, como lo muestra la imagen 28.

Imagen 28. Cargar distribución.



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Una vez se despliega la pestaña se debe seleccionar el tipo de vía que se va a diseñar, si es una autopista, una vía rural, una vía de ciudad, etc. El programa tiene los coeficientes y valores pre determinados, en caso de ser diferentes en otra región se puede modificar ahí mismo. En la imagen 29 muestra lo anteriormente explicado.

Imagen 29. Tipo de vía.

General category: Principal Arterials - Interstates and Defense Routes (0)			
Principal Arterials - Interstates and Defense Routes (0)			
Principal Arterials - Other (1)			
<input type="checkbox"/>	*	5	(<2%)
Minor Arterials (2)			
Major Collectors (3)			
Minor Collectors (4)			
<input type="checkbox"/>	*	8	(<2%)
Local Routes and Streets (5)			
<input type="checkbox"/>	*	11	(<2%)
<input type="checkbox"/>	*	13	(<2%)
<input type="checkbox"/>	*	16	(<2%)
<input type="checkbox"/>	*	3	(<2%)
<input type="checkbox"/>	*	7	(<2%)
<input type="checkbox"/>	*	10	(<2%)
<input type="checkbox"/>	*	15	(<2%)
<input checked="" type="checkbox"/>	*	1	(>2%)
<input type="checkbox"/>	*	2	(>2%)
<input type="checkbox"/>	*	4	(>2%)
<input type="checkbox"/>	*	6	(>2%)

Vehicle Class Distribution	
Class	Percent (%)
Class 4	1.3
Class 5	8.5
Class 6	2.8
Class 7	0.3
Class 8	7.6
Class 9	74
Class 10	1.2
Class 11	3.4
Class 12	0.6
Class 13	0.3

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

En la parte izquierda; como se había mencionado anteriormente, esta los datos más específicos como:

- El número de carriles.
- Porcentaje de camiones en el diseño
- Velocidad de operación
- El ancho promedio entre ejes.
- Espacio entre los ejes de doble llanta
- Presión de los neumáticos

En la imagen 29.1 se muestra cada casilla; los valores que se encuentran ahí, son valores que el programa tiene y si no se ajustan a los valores de la ciudad donde se van a emplear puede alterar la estructura. Cabe recordar que las unidades de esta parte están en millas, pies, pulgadas, psi; en el sistema americano.

Imagen 29.1. Panel derecho de datos tránsito.

▲ AADTT		
Two-way AADTT	<input checked="" type="checkbox"/>	4000
Number of lanes	<input checked="" type="checkbox"/>	2
Percent trucks in desig	<input checked="" type="checkbox"/>	50
Percent trucks in desig	<input checked="" type="checkbox"/>	95
Operational speed (mph)	<input checked="" type="checkbox"/>	60
▲ Traffic Capacity		
Traffic Capacity Cap	<input checked="" type="checkbox"/>	Not enforced
▲ Axle Configuration		
Average axle width (ft)	<input checked="" type="checkbox"/>	8.5
Tandem axle spacing (ft)	<input checked="" type="checkbox"/>	51.6
Dual tire spacing (in)	<input checked="" type="checkbox"/>	12
Quad axle spacing (in)	<input checked="" type="checkbox"/>	49.2
Tire pressure (psi)	<input checked="" type="checkbox"/>	120
Tridem axle spacing (ft)	<input checked="" type="checkbox"/>	49.2
▲ Lateral Wander		
Design lane width (ft)	<input checked="" type="checkbox"/>	12
Mean wheel location (ft)	<input checked="" type="checkbox"/>	18
Traffic wander standard	<input checked="" type="checkbox"/>	10

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement

- Una vez llenado los campos anteriores se procede a la pestaña de ejes sencillos. En las imágenes 30, 31, 32, 33, se aprecian los ajustes de distribución de ejes sencillos, de ejes tándem, ejes tridem, y ejes quad respectivamente. En cada pestaña aparece el mismo recuadro y se debe ajustar de acuerdo con la norma y la proyección del tránsito y variación de la ciudad o región donde se vaya a diseñar.

Imagen 30. Eje sencillo.

		Project1:Project	Project1:Traffic*	Project1:Single															
Month	Class	Total	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000	16000	17000	18000	
April	4	100	1.8	0.96	2.91	3.99	6.8	11.47	11.28	10.99	9.88	8.55	7.32	5.55	4.23	3.11	2.54	1.98	
January	4	100	1.8	0.96	2.91	3.99	6.8	11.47	11.3	10.97	9.88	8.54	7.33	5.55	4.23	3.11	2.54	1.98	
November	4	100	1.8	0.96	2.91	3.99	6.8	11.48	11.29	10.97	9.87	8.54	7.33	5.56	4.23	3.11	2.54	1.98	
March	4	100	1.8	0.96	2.91	3.99	6.81	11.45	11.31	10.97	9.88	8.54	7.33	5.55	4.23	3.11	2.54	1.98	
June	4	100	1.8	0.96	2.91	3.99	6.8	11.45	11.3	10.97	9.88	8.55	7.33	5.56	4.23	3.11	2.54	1.98	
July	4	100	1.8	0.96	2.91	3.99	6.8	11.47	11.29	10.97	9.88	8.54	7.33	5.56	4.23	3.11	2.54	1.98	
August	4	100	1.8	0.96	2.91	3.99	6.81	11.47	11.29	10.97	9.88	8.54	7.33	5.55	4.23	3.11	2.54	1.98	
September	4	100	1.8	0.96	2.91	3.99	6.81	11.46	11.29	10.96	9.87	8.54	7.33	5.56	4.24	3.12	2.54	1.98	
December	4	100	1.8	0.96	2.91	3.99	6.8	11.46	11.29	10.96	9.88	8.54	7.34	5.57	4.23	3.11	2.54	1.98	
October	4	100	1.8	0.96	2.91	3.99	6.81	11.46	11.3	10.97	9.87	8.54	7.33	5.56	4.23	3.11	2.54	1.98	
December	12	100	6.69	2.31	4.88	5.87	5.98	8.86	9.58	9.94	8.59	7.09	5.86	6.58	4.55	3.63	2.56	2	
February	12	100	6.68	2.29	4.88	5.87	5.98	8.86	9.58	9.95	8.61	7.09	5.86	6.58	4.55	3.63	2.56	2	
December	7	100	2.14	0.55	2.42	2.71	3.21	5.81	5.26	7.39	6.85	7.41	8.99	8.15	7.77	6.84	5.67	4.63	
February	4	100	1.8	0.96	2.91	3.99	6.8	11.47	11.31	10.97	9.88	8.54	7.32	5.55	4.23	3.11	2.54	1.98	
March	7	100	2.14	0.55	2.42	2.7	3.21	5.81	5.26	7.38	6.85	7.43	8.99	8.15	7.77	6.84	5.67	4.63	
March	12	100	6.68	2.29	4.87	5.86	5.97	8.86	9.59	9.96	8.59	7.09	5.86	6.59	4.57	3.63	2.56	2	
November	7	100	2.14	0.55	2.42	2.7	3.21	5.81	5.26	7.38	6.85	7.42	8.99	8.16	7.77	6.84	5.67	4.63	
April	7	100	2.14	0.55	2.42	2.7	3.21	5.81	5.26	7.38	6.85	7.42	8.99	8.16	7.77	6.84	5.67	4.63	
April	12	100	6.68	2.29	4.87	5.87	5.98	8.85	9.59	9.95	8.61	7.09	5.86	6.59	4.55	3.63	2.56	2	
May	4	100	1.8	0.96	2.91	3.99	6.82	11.47	11.29	10.97	9.88	8.54	7.32	5.55	4.23	3.11	2.54	1.98	
May	12	100	6.68	2.29	4.87	5.86	5.97	8.85	9.57	9.93	8.61	7.11	5.87	6.61	4.56	3.63	2.56	2	

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Imagen 31. Eje Tandem.

		Project1:Project	Project1:Traffic*	Project1:Single	Project1:Tandem								
Month	Class	Total	6000	8000	10000	12000	14000	16000	18000	20000	22000	24000	
January	4	100	5.88	1.44	1.94	2.73	3.63	4.96	7.95	11.58	14.2	13.15	
January	5	100	7.06	35.44	13.24	6.32	4.33	5.08	5.05	4.39	2.31	2.28	
January	6	100	5.28	8.43	10.83	8.99	7.72	7.5	6.76	6.06	5.71	5.17	
January	7	100	13.76	6.72	6.5	3.46	7.07	4.83	4.97	4.58	4.26	3.85	
January	8	100	18.93	8.07	11.17	11.87	10.53	8.26	6.78	5.33	4.13	3.12	
January	9	100	2.78	3.92	6.52	7.62	7.75	7.01	5.83	5.6	5.17	5.05	
January	10	100	2.45	2.19	3.65	5.4	6.9	7.49	6.99	6.62	6.26	5.95	
January	11	100	7.93	3.15	5.21	8.23	8.88	8.45	7.08	5.49	5.14	5.99	
January	12	100	5.23	1.75	3.35	5.89	8.73	8.38	9.77	10.84	10.78	7.24	
February	4	100	5.88	1.44	1.94	2.73	3.63	4.96	7.95	11.58	14.2	13.15	
February	5	100	7.06	35.44	13.24	6.32	4.33	5.08	5.05	4.39	2.31	2.28	
February	6	100	5.28	8.43	10.83	8.99	7.72	7.5	6.76	6.06	5.71	5.17	
February	7	100	13.76	6.72	6.5	3.46	7.07	4.83	4.97	4.58	4.26	3.85	
February	8	100	18.93	8.07	11.17	11.87	10.53	8.26	6.78	5.33	4.13	3.12	
February	9	100	2.78	3.92	6.52	7.62	7.75	7.01	5.83	5.6	5.17	5.05	
February	10	100	2.45	2.19	3.65	5.4	6.9	7.49	6.99	6.62	6.26	5.95	
February	11	100	7.93	3.15	5.21	8.23	8.88	8.45	7.08	5.49	5.14	5.99	
February	12	100	5.23	1.75	3.35	5.89	8.73	8.38	9.77	10.84	10.78	7.24	
February	13	100	6.42	3.85	5.59	5.67	5.74	5.54	4.9	4.5	6.45	4.77	
March	4	100	5.88	1.44	1.94	2.73	3.63	4.96	7.95	11.58	14.2	13.15	

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

En las pestañas de los ejes (pestañas a la izquierda), los valores superiores horizontales (los números que empiezan en 3000 en adelante) hace referencia a la carga de cada camión, la carga que se contó en el estudio de transito de cada camión. La fecha en la parte vertical hace referencia al mes de toma de los datos; es decir en la parte de febrero es todos los camiones de 3000 lb que pasaron en el mes de febrero, y debe dar un total de 100% con la suma de los otros valores de diferente peso.

Imagen 32. Eje Tridem.

Project1:Project		Project1:Traffic*		Project1:Single			Project1:Tandem			Project1:Tridem			
Month	Class	Total	12000	15000	18000	21000	24000	27000	30000	33000	36000	39000	
January	4	100	66.67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
January	5	100	48.28	1.08	0.43	0.15	0.73	3.13	3.83	0.7	15.59	0.7	
January	6	100	29.51	9.2	7.6	10.35	4.73	3.55	6.27	4.18	2.11	2.22	
January	7	100	5.89	2.18	3.32	2.98	3.27	4.26	4.48	5.11	7.01	6.77	
January	8	100	20.89	2.33	3.34	4.26	3.71	4.32	5.24	4.89	3.91	5	
January	9	100	59.19	13.03	7.89	6.51	2.78	1.87	2.51	1.02	0.66	0.55	
January	10	100	16.21	9.51	7.3	5.83	5.82	5.03	4.99	5.79	6.71	7.41	
January	11	100	23.31	20.89	15.88	12	5.8	2.61	2.08	2.06	2.94	1.1	
January	12	100	13.28	6.38	6.74	6	4.37	4.53	8.01	5.61	6.25	8.04	
January	13	100	10.86	4.4	4.75	4.04	3.02	4.46	4.99	3.82	6.51	5.49	
February	4	100	66.67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
February	5	100	48.28	1.08	0.43	0.15	0.73	3.13	3.83	0.7	15.59	0.7	
February	6	100	29.51	9.2	7.6	10.35	4.73	3.55	6.27	4.18	2.11	2.22	
February	7	100	5.89	2.18	3.32	2.98	3.27	4.26	4.48	5.11	7.01	6.77	
February	8	100	20.89	2.33	3.34	4.26	3.71	4.32	5.24	4.89	3.91	5	
February	9	100	59.19	13.03	7.89	6.51	2.78	1.87	2.51	1.02	0.66	0.55	
February	10	100	16.21	9.51	7.3	5.83	5.82	5.03	4.99	5.79	6.71	7.41	

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

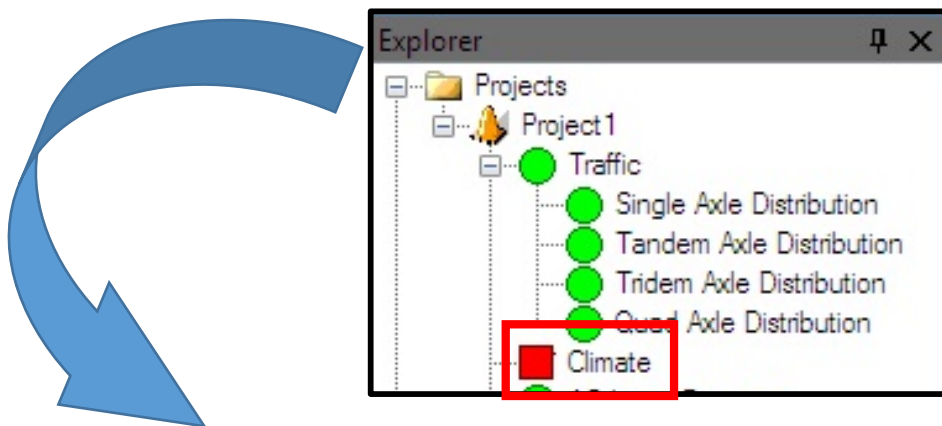
Imagen 33. Eje Quad.

Month	Class	Total	12000	15000	18000	21000	24000	27000	30000	33000	36000	39000	42000	45000	48000	51000	54000
January	4	100	66.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.67	6.67	0	0	0
January	5	100	48.31	1.07	0.43	0.15	0.73	3.12	3.83	0.7	15.61	0.7	3.47	2.93	3.33	1.78	4.47
January	6	100	29.5	9.2	7.6	10.36	4.73	3.55	6.27	4.18	2.11	2.22	1.79	1.7	1.19	3.12	0.96
January	7	100	5.89	2.18	3.32	2.98	3.27	4.26	4.48	5.11	7.01	6.77	7.21	7.18	6.63	5.84	6.2
January	8	100	20.89	2.33	3.34	4.26	3.71	4.32	5.24	4.89	3.91	5	3.99	4.53	4.96	4.98	5.98
January	9	100	59.19	13.03	7.89	6.51	2.78	1.87	2.51	1.02	0.66	0.55	0.59	0.84	0.36	0.46	0.27
January	10	100	16.21	9.51	7.29	5.83	5.82	5.04	4.99	5.79	6.71	7.41	6.41	4.93	4.54	2.82	1.79
January	11	100	23.31	20.89	15.88	12	5.8	2.61	2.08	2.06	2.94	1.1	2.98	1.95	1.87	0.72	1.27
January	12	100	13.28	6.38	6.74	6	4.37	4.53	8.01	5.61	6.25	8.04	6.7	6.08	3.48	5.81	2.22
February	4	100	66.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.67	6.67	0	0	0
February	5	100	48.31	1.07	0.43	0.15	0.73	3.12	3.83	0.7	15.61	0.7	3.47	2.93	3.33	1.78	4.47
February	6	100	29.5	9.2	7.6	10.36	4.73	3.55	6.27	4.18	2.11	2.22	1.79	1.7	1.19	3.12	0.96
February	7	100	5.89	2.18	3.32	2.98	3.27	4.26	4.48	5.11	7.01	6.77	7.21	7.18	6.63	5.84	6.2
February	8	100	20.89	2.33	3.34	4.26	3.71	4.32	5.24	4.89	3.91	5	3.99	4.53	4.96	4.98	5.98
February	9	100	59.19	13.03	7.89	6.51	2.78	1.87	2.51	1.02	0.66	0.55	0.59	0.84	0.36	0.46	0.27
February	10	100	16.21	9.51	7.29	5.83	5.82	5.04	4.99	5.79	6.71	7.41	6.41	4.93	4.54	2.82	1.79
February	11	100	23.31	20.89	15.88	12	5.8	2.61	2.08	2.06	2.94	1.1	2.98	1.95	1.87	0.72	1.27
February	12	100	13.28	6.38	6.74	6	4.37	4.53	8.01	5.61	6.25	8.04	6.7	6.08	3.48	5.81	2.22
February	13	100	10.87	4.4	4.75	4.04	3.02	4.46	3.82	6.51	5.49	6.52	5.19	6.32	5.2	5.47	
March	4	100	66.66	0	0	0	0	0	0	0	0	0	26.67	6.67	0	0	0
March	5	100	48.31	1.07	0.43	0.15	0.73	3.12	3.83	0.7	15.61	0.7	3.47	2.93	3.33	1.78	4.47
March	6	100	29.5	9.2	7.6	10.36	4.73	3.55	6.27	4.18	2.11	2.22	1.79	1.7	1.19	3.12	0.96

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

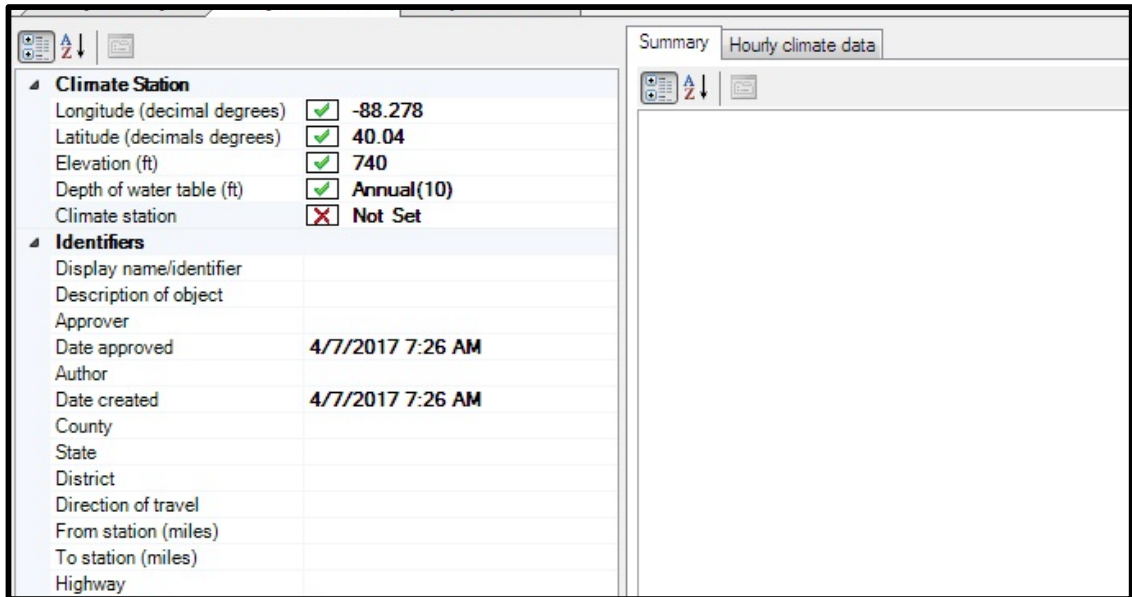
3.3.17. Insertar datos de clima. Teniendo todos los datos anteriores de tránsito, las capas con sus características, se procede a un último paso. El programa tiene una pestaña de ingreso de datos meteorológicos y para empezar con esto se debe dar clic en “climate” (clima) para que se despliegue la pestaña de clima y proceder con el diseño como lo ilustra la imagen 34.

Imagen 34. Clima.



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

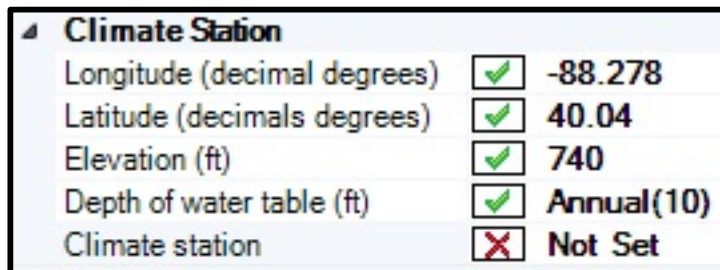
Imagen 35. Datos clima.



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Cuando se le da clic a esta pestaña, se despliega una pantalla con dos partes; la parte derecha que muestra unos cuadros donde se inserta los datos del clima (los datos pueden ser importados de Excel, o block de notas y debe tener como mínimo un año de datos continuos), y en la parte izquierda una franja donde hay unos datos de la región; su altitud, e información que más adelante se explicara con detalle. En la imagen 35 muestra lo dicho anteriormente.

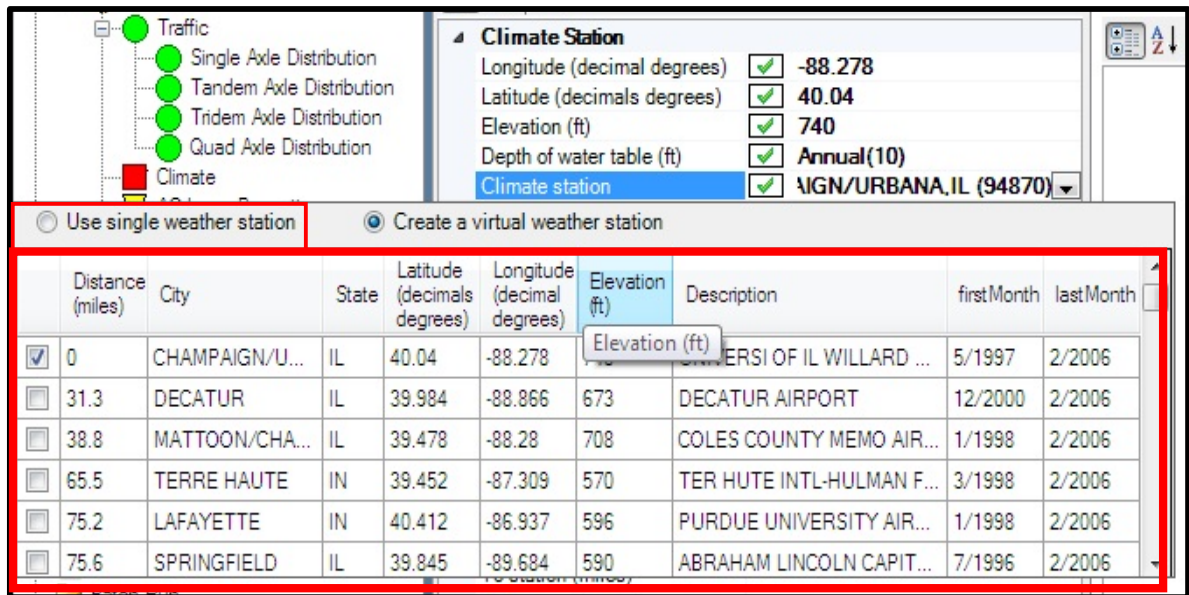
Imagen 36. Datos estación climática.



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

- En la parte izquierda de la imagen 35 se encuentran los datos a ingresar de la estación de clima. En la imagen 36 se puede observar:
 - **Longitud:** se debe introducir el valor de la longitud en grados de la localidad del proyecto.
 - **Latitud:** se debe introducir la latitud en grados °, de donde se vaya a efectuar el proyecto.
 - **Elevación:** En la casilla de elevación se debe introducir la elevación sobre el nivel del mar en donde se encuentre la región del proyecto.
 - **Tabla de profundidad del agua:** En la tabla de profundidad de agua hace referencia a la frecuencia de lluvia y a la cantidad de precipitación.
 - **Estación climática:** en la casilla de estación climática, el programa tiene una serie de bases de datos de las estaciones de clima en estados unidos. Están las de todos los estados y muestra la elevación, longitud, latitud, estado y la ciudad donde está la estación, solo es seleccionar la localidad donde se vaya a hacer el proyecto. En caso que sea en un lugar diferente a los estados unidos, se debe seleccionar el botón de "Use a single weather station"; usar una estación de clima sencilla, lo cual desplegará una pestaña a la izquierda para insertar los datos de la estación regional del proyecto. En la imagen 37 está señalado el botón mencionado anteriormente y se ve el cuadro que muestra el programa de las estaciones en estados unidos.

Imagen 37. Estación climática virtual.



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Una vez llenado esos campos se procede a la importación y a llenar la tabla de la parte derecha de la pestaña de clima.

Se da clic en “hourly climate data”; como muestra la imagen 38, y despliega un cuadro para empezar a seleccionar el periodo de tiempo de los datos climáticos. En la imagen 39 se puede ver lo dicho anteriormente.

Imagen 38. Hora de datos climáticos.

Hourly climate data

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Imagen 39. Casillas para insertar los datos de clima.

Date/Hour	Temperature (deg F)	Wind Speed (mph)	Sunshine (%)	Precipitation (in.)	Humidity (%)	Water Table (ft)
-----------	---------------------	------------------	--------------	---------------------	--------------	------------------

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Nota: El programa requiere un mínimo de un año de datos de la estación de clima para que pueda modelar y correr el programa. También se debe tener en cuenta las unidades de las casillas ya que las medidas en países latinos son en el sistema decimal y el software lo tiene en unidades inglesas.

- Las casillas para insertar o importar los datos son:

- Fecha y hora.
- Temperatura (En grados Fahrenheit).
- Velocidad del viento (Millas por hora).
- Porcentaje de luz solar.
- Precipitación (En pulgadas).
- Humedad en porcentaje.
- Tabla de agua (En pies).

Imagen 40. Tabla del clima.

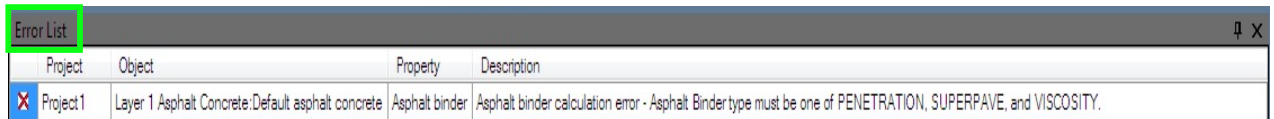
Date/Hour	Temperature (deg F)	Wind Speed (mph)	Sunshine (%)	Precipitation (in.)	Humidity (%)	Water Table (ft)
4/1/2017 12:00:00						
4/1/2017 1:00:00						
4/1/2017 2:00:00						
4/1/2017 3:00:00						
4/1/2017 4:00:00						
4/1/2017 5:00:00						
4/1/2017 6:00:00						
4/1/2017 7:00:00						
4/1/2017 8:00:00						
4/1/2017 9:00:00						
4/1/2017 10:00:00						
4/1/2017 11:00:00						
4/1/2017 12:00:00						
4/1/2017 1:00:00						
4/1/2017 2:00:00						
4/1/2017 3:00:00						
4/1/2017 4:00:00						
4/1/2017 5:00:00						
4/1/2017 6:00:00						
4/1/2017 7:00:00						
4/1/2017 8:00:00						

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

En la imagen 40 se puede ver como se despliega las casillas para la inserción de datos al programa. También se puede ver el plazo mínimo que es de un año; va de abril del 2017 a abril del 2018, o pues la fecha que tenga a bien la persona que vaya a diseñar.

- ✓ Cuando el software tiene algún error de datos, o está fuera de los rangos que están permitidos, o algo no coincide, el programa arroja un error en la casilla de abajo, con darle doble clic automáticamente dirige al lugar donde se generó el error para proceder a corregirlo y continuar con el diseño. Como lo muestra la imagen 42.

Imagen 41. Error producido.



Project	Object	Property	Description
Project1	Layer 1 Asphalt Concrete:Default asphalt concrete	Asphalt binder	Asphalt binder calculation error - Asphalt Bindertype must be one of PENETRATION, SUPERPAVE, and VISCOSITY.

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

- ❖ **UNA VEZ FINALIZADO LOS PASOS ANTERIORES SE HA TERMINADO LOS DATOS A INSERTAR EN EL PROGRAMA Y SE PROCEDE A CORRERLO.**

3.4. CORRER EL PROGRAMA.

Cuando todos los datos estén ya insertados y el programa no haya presentado ningún error, se puede proceder a correr el programa y se le debe dar “RUN” que está en la parte superior del programa, como lo muestra la imagen.

Cuando el programa este corrido y haya finalizado, va arrojar un archivo en PDF con los datos del diseño, si el diseño cumplió con las capas estimadas y los espesores propuestos, los cálculos realizados con las respectivas formulas.

Imagen 42. Panel superior.

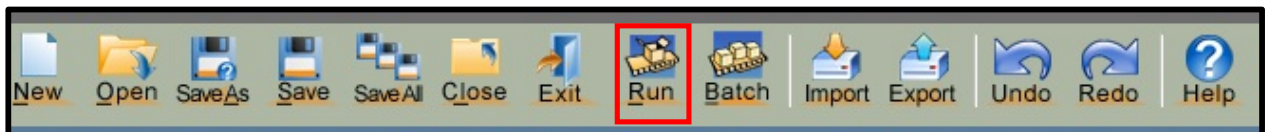
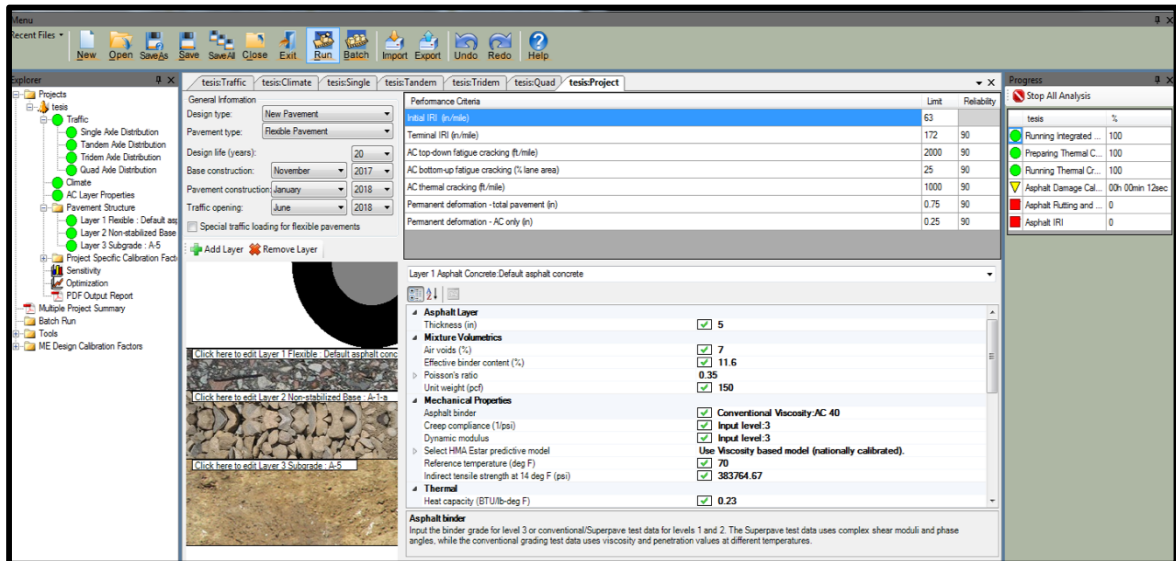
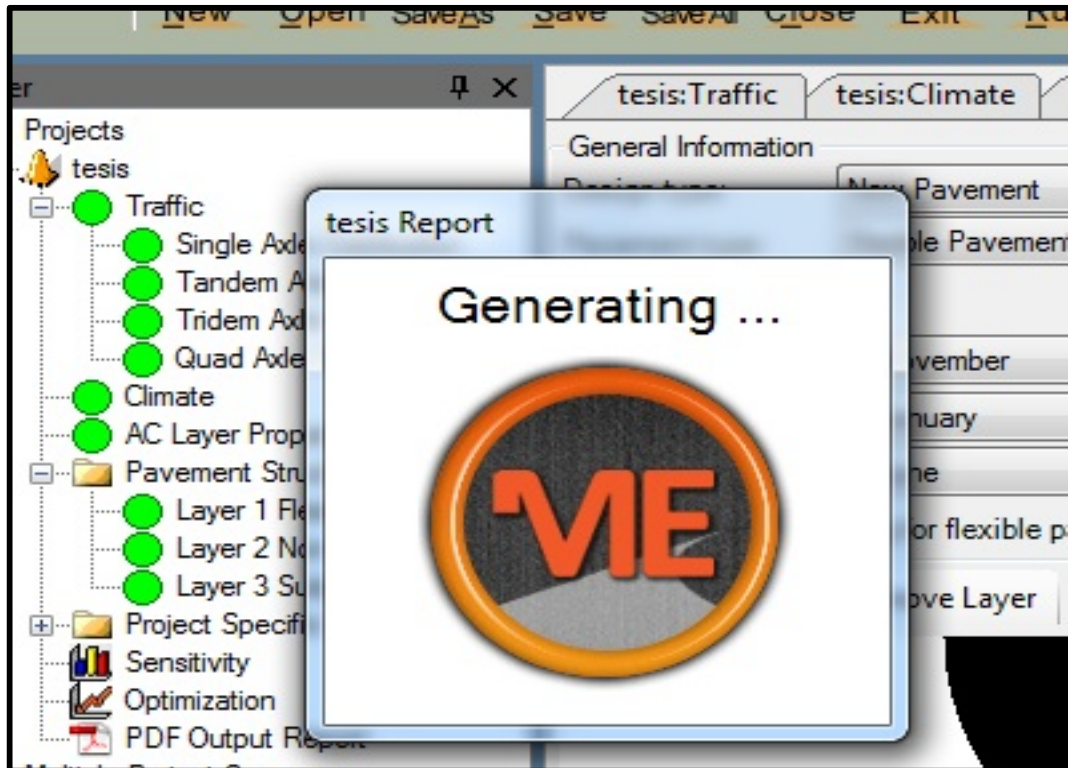


Imagen 43. Corriendo el programa.



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement

Imagen 44. Generando diseño.



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

4. DISEÑO DE PAVIMENTO EMPLEANDO SOFTWARE.

De acuerdo con el manual del software que esta detallado en el numeral 5 (metodología), se aplicó el programa para el diseño de una estructura de pavimento flexible para los tramos de parqueadero que están solo con la capa de material granular compactado. La aplicación de este programa requirió de varios ensayos de laboratorio y conteos de tránsito para poder llevar a cabo la introducción de variables reales al software. A continuación se cuenta el paso a paso del diseño realizado para el tramo de parqueaderos de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

4.1 ESTUDIO DEL SUELO

Para el estudio de suelos fue necesario hacer un apique en la sección del parqueadero en el nivel superior de el parqueo, donde se encuentra la nueva construcción de laboratorios. Fue extraído una muestra de suelo inalterada de suelo para la determinación de sus propiedades mecánicas como granulometría, limites de Atterberg, CBR y el módulo resiliente de la subrasante para proceder a la inserción de estos al programa.

Imagen 45. Toma muestra.



Fuente: Tomada por Luis Carlos Ceron.

4.1.1. Análisis granulométrico. Para la clasificación y análisis del suelo que fue tomado del área de parqueo de la universidad se procedió de la siguiente manera:

1. Se llevó el material al laboratorio
2. Se sacó una porción del material y se colocó bandejas metálicas proporcionadas por el laboratorio.
3. Se procedió a introducir una parte de las muestras en bandejas en el horno para su respectivo secado.
4. Una vez la muestra esté seca y haya pasado el tiempo de secado en el horno, se procede a la extracción del material.
5. Se extrae 1200 gr de la muestra seca para su procedimiento de tamizado.
6. Se debe lavar el material antes de separarlo y con su lavado pasarlo por el tamiz 200, después esto se vierte el material en los tamices que dice la norma I.N.V.E-102 -13 y se separa en cada tamiz la muestra. los tamices utilizados fueron 3/8", N°4, 10, 20, 40, 60, 140, y 200. Se sacudió el compendio de tamices hasta que no paso más material.
7. Una vez terminado el proceso de agitar los moldes se procede a pesar la cantidad retenida en cada tamiz para hacer la granulometría y clasificar el suelo.

En la tabla 2, muestra los datos obtenidos en la granulometría para la clasificación del suelo en cuestión.

Tabla 2. Granulometría del proyecto.

GRANULOMETRIA				
TAMIZ	PESO RET.	%RETENIDO	%RET.TOTAL	%PASA TOTAL
3/4"				
1/2"				
3/8"	5,28	0,45	0,45	99,55
N°4	20,76	1,77	2,22	97,78
10	58,64	5,00	7,23	92,77
20	214,38	18,29	25,52	74,48

GRANULOMETRIA				
TAMIZ	PESO RET.	%RETENIDO	%RET.TOTAL	%PASA TOTAL
40	414,8	35,39	60,91	39,09
60	157,39	13,43	74,34	25,66
140	253,57	21,64	95,98	4,02
200	29,87	2,55	98,53	1,47
FONDO	17,23	1,47	100,00	0,00
TOTAL	1171,92	100		

Fuente: Autor del proyecto

Según la granulometría obtenida en el laboratorio se puede observar; en la tabla 2, que el suelo estudiado y obtenido en campo, es una arena por un gran porcentaje de diferencia.

Tabla 3. Porcentajes de suelo.

Gravas %	2,22
Arenas %	99,25
Finos %	1,47

Fuente: Autor del proyecto

Teniendo en cuenta que se entiende que es una arena se debe saber que tan permeable es, para el estudio completo del suelo se realizaron los límites líquidos y plásticos para su análisis integral. Con esto se puede definir el tipo de suelo según la AASHTO.

- Se procedió a realizar los límites líquidos y plásticos para poder clasificar el suelo de forma precisa. Mediante el ensayo de la cuchara de Casagrande tal cual lo describe la norma I.N.V.E-125 y 126 del 2013. En ellas se describe el procedimiento, el cual se realizo de forma cuidadosa y precisa. Los resultados se muestran en las tablas 4 y 5.

Tabla 4. Limite líquido

Prueba N°	Capsula N°	N° Golpes	Peso capsula + suelo húmedo (g)	Peso capsula + suelo seco (g)	Peso del agua (g)	Peso de la capsula (g)	Peso del suelo seco (g)	Contenido de agua (%)	
LÍMITE LÍQUIDO									
1	11	20	36,5	34,17	2,33	29,96	4,21	55,34	
2	77	23	30,25	27,27	2,98	21,22	6,05	49,26	
3	25	33	32,12	28,74	3,38	20,81	7,93	42,62	
								Limite liquido	45,3

Fuente: Autor del proyecto

Tabla 5. Limite plástico

Prueba N°	Capsula N°	N° Golpes	Peso capsula + suelo húmedo (g)	Peso capsula + suelo seco (g)	Peso del agua (g)	Peso de la capsula (g)	Peso del suelo seco (g)	Contenido de agua (%)	
LÍMITE PLÁSTICO									
1	12	-	32,38	30,88	1,50	26,911	3,97	37,79	
2	35	-	35,84	33,72	2,12	27,87	5,85	36,24	
								Promedio	37,02

Fuente: Autor del proyecto

Como resumen de estos resultados obtenidos en el laboratorio, puede verse como resumen la tabla 5 se puede ver el resumen para poder clasificar el suelo según la calificación por el método AASHTO.

Tabla 6. Resumen de límites.

Límite líquido	45,3
Límite plástico	37,02
Índice de plasticidad	8,28

Fuente: Autor del proyecto

Según la imagen 46 se puede deducir que el suelo en cuestión de la zona de parqueo de la Universidad Pontificia Bolivariana es un suelo A-2-5. El suelo se clasifica por el método AASHTO ya que el software pavement requiere esa clasificación.

Imagen 46. Tabla AASHTO de clasificación de suelos.

Clasif. General	Materiales Granulares (35% o menos pasa la malla nº 200)						Limos y Arcillas (35% pasa malla nº 200)				
	A - 1		A - 3	A - 2			A - 4	A - 5	A - 6	A - 7	
Subgrupos	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7			A - 7-5/A-7-6	
% que pasa tamiz :											
Nº 10	50 máx										
Nº 40	30 máx	50 máx	51 mín								
Nº 200	15 máx	25 máx	10 máx	35 máx	35 máx	35 máx	35 máx	36 mín	36 mín	36 mín	
Caract. Bajo Nº 40											
LL				40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín	40 máx	41 mín
IP	6 máx	6 máx	NP	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín	10 máx	10 máx	11 mín	11 mín
IG	0	0	0	0	0	4 máx	4 máx	8 máx	12 máx	16 máx	20 máx
Tipo de material	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y arenas limosas y arcillosas			Suelos Limosos		Suelos arcillosos		
Terreno fundación	Excelente		Excelente	Excelente a bueno			Regular a malo				

Fuente: ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN. Clase cátedra, clasificación de suelos.

2017.

Disponible

en:

http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/03_clases_catedra/clases_catedra_ms1/05_terzaghi_3.pdf.

4.1.2. Ensayo de proctor. Una vez clasificado el suelo como (A-2-5) se procedió a realizar el ensayo Proctor modificado según la norma I.N.V.E- 142 -13 y arrojó los siguientes resultados realizados en el laboratorio:

Tabla 7. Resultados proctor.

Ensayo de Proctor modificado			
Peso inicial muestra, pasado por el tamiz 40 (gr)		5900	
Porcentaje inicial de agua (ml)		472	8%
Peso Molde (g)	5845		
Porcentajes de humedad			
	8%	12%	16%
Peso Húmedo (gr)	4175	4565	4487
Peso capsula (gr)	27	27	27
peso muestra húmeda (gr)	64,90	65,28	90,70
Peso muestra seca (gr)	63,20	62,60	85,60
% de humedad	2,69	4,28	5,96

Fuente: Autor del proyecto

Siguiendo los ensayos y las ecuaciones del INVIAS se calculó el porcentaje de humedad óptimo y fue del 14%. Todo este procedimiento es con el fin de introducir en el programa el valor del módulo resiliente de la subrasante para realizar el modelo de la estructura de pavimento en el software.

Teniendo la humedad óptima se puede proceder al ensayo de CBR para calcular el valor de la resistencia de la sub rasante para posteriormente hallar su módulo resiliente y terminar la parte de suelos del diseño.

Imagen 47. Ensayo proctor.



Fuente: Autor del proyecto

- Densidad seca:

$\gamma_{\text{húmedo}} = \text{Peso muestra húmeda} / \text{volumen del molde}$

$$\gamma_{\text{húmedo}} = 4175 \text{ g} / 2141,20 \text{ cm}^3$$

$$\gamma_{\text{húmedo}} = 1,94 \text{ g/cm}^3$$

- La densidad de cada porcentaje de humedad es:

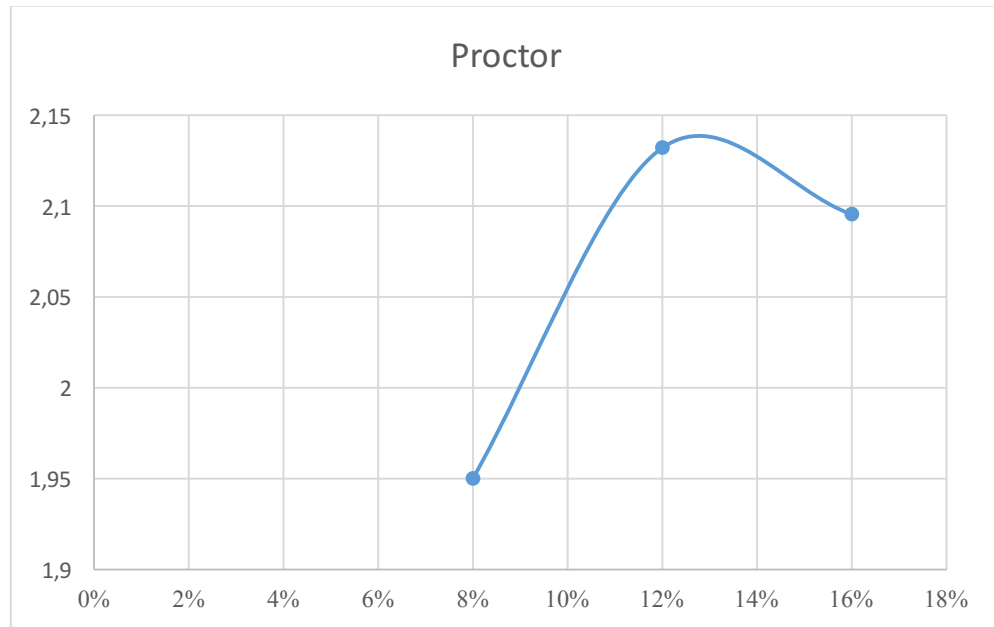
Tabla 8. Pesos a diferentes humedades.

$\gamma_d 1$	1,94
$\gamma_d 2$	2,13
$\gamma_d 3$	2,09

Fuente: Autor del proyecto

La grafica del ensayo proctor de Densidad vs humedad, nos da el valor óptimo de humedad para proseguir con el ensayo CBR. Ver gráfica, la densidad está en g/cm^3 y la humedad en porcentaje.

Grafica 1. Proctor.



Fuente: Autor del proyecto

El valor de humedad óptima es: $W_{\text{opt}} = 12,6\%$. Y un $\gamma_d = 2,13 \text{ g/cm}^3$.

4.1.3 Ensayo de CBR. Teniendo los resultados de proctor y con la humedad óptima del suelo (en este caso dio 14%) se realizó la práctica de CBR en laboratorio, siguiendo la norma I.N.V.E – 148-13 sobre muestra inalterada. El proceso fue:

- Con la humedad óptima se mezcló el 10,8% de agua con 5900gr de muestra inalterada. Se realizan tres moldes cada uno con los mismo 5900 gr y diferente porcentaje de agua, pero con la diferencia del número de golpes, se deben hacer 5 capas cada molde y cada capa debe llevar un incremento de golpes; es decir al cilindro 1 se le aplicaran 12 golpes por cada capa, 15 golpes a cada capa y 56

golpes al último cilindro de ensayo. Cada cilindro deberá llevar un falso fondo como lo indica la norma. En la tabla 7 se muestran los datos preliminares del ensayo.

Tabla 9. Datos iniciales CBR.

CBR	
Humedad optima	14%
Humedad 1	12%
Humedad 2	16%
Ø Interno	15,2
Altura con falso fondo	11,8
Altura molde	17,8

Fuente: Autor del proyecto

- Después de tener los moldes llenos con el material y debidamente compactado, se procede a introducir los recipientes en agua hasta que el nivel del agua los cubra. Se mide la deformación en ese punto y se deja por 24 horas y se vuelve a medir para calcular la expansión del suelo. En la tabla 8 se puede observar la deformación inicial y final de los cilindros con sus diferentes números de compactación.

Tabla 10. Medidas de deformación, muestras húmedas.

	Nº Golpes		
	12	25	56
Peso (gr)	12758	13089	13354
Líneas en el deformímetro	61	69	39
Líneas en el deformímetro después de sumergido	105	101	68
Deformación (0,001 pulg=1 pulg.)	44	32	29

Fuente: Autor del proyecto

- Una vez se saca el material del agua, se deja secando por 15 min, y se procede a hacer la prueba a compresión en la máquina Humboldt del laboratorio de suelos de la Universidad Pontificia Bolivariana-seccional Bucaramanga. La máquina empieza a comprimir la muestra en el molde cilíndrico y se debe registrar cada 0,025 pulgadas la presión ejercida.

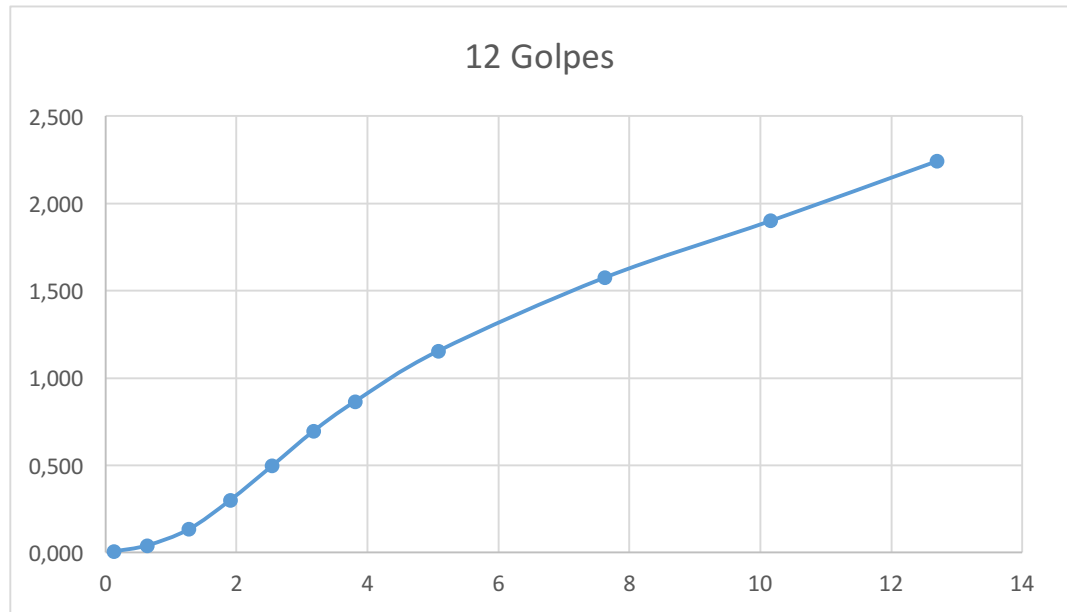
- Con los datos obtenidos en el ensayo se gráfica y se calcula el CBR del suelo para proceder a calcular el módulo resiliente de la subrasante y poder insertar el dato en el programa y continuar con el diseño mecanicista-empírico. En las tablas 9, 10, 11 se puede ver los resultados obtenidos en el proceso del ensayo. El Área del pistón fue de 1975mm² (3”).

Tabla 11. CBR a 12 golpes.

12 Golpes				
Penetración (in)	Carga (lb)	Presión (lb/in ²)	Penetración (mm)	Esfuerzo (Mpa)
0,005	2	0,667	0,127	0,005
0,025	17	5,667	0,635	0,039
0,05	57	19,000	1,27	0,131
0,075	130	43,333	1,905	0,299
0,100	215	71,667	2,54	0,494
0,125	302	100,667	3,175	0,694
0,150	376	125,333	3,81	0,864
0,200	502	167,333	5,08	1,154
0,300	685	228,333	7,62	1,574
0,400	827	275,667	10,16	1,901
0,500	976	325,333	12,7	2,243
Peso capsula (gr)		27,41		
Peso húmedo (gr)		90,26		
Peso seco (gr)		79,98		
Humedad %		12,85		

Fuente: Autor del proyecto

Grafica 2. CBR a 12 golpes



Fuente: Autor del proyecto

- **Relación de soporte (CBR).**

$$\text{CBR (25,4mm)} = (0,494 / 6,9) * 100 = 7,161$$

$$\text{CBR (50,8mm)} = (1,154 / 10,3) * 100 = 11,202$$

- **Peso unitario seco.**

$$M_{\text{sac}} = (12758 - 8750) / (1 + 0,12,85) = 3551,61 \text{ g}$$

$$\text{Vol. Molde} = \pi * h * r = \pi * (11,8) * (7,6)^2 = 2141,20 \text{ cm}^3$$

- **Densidad seca.**

$$\rho_{\text{seca}} = M_{\text{sac}} / V_{\text{molde}} = (3551,61,24) / (2141,20)$$

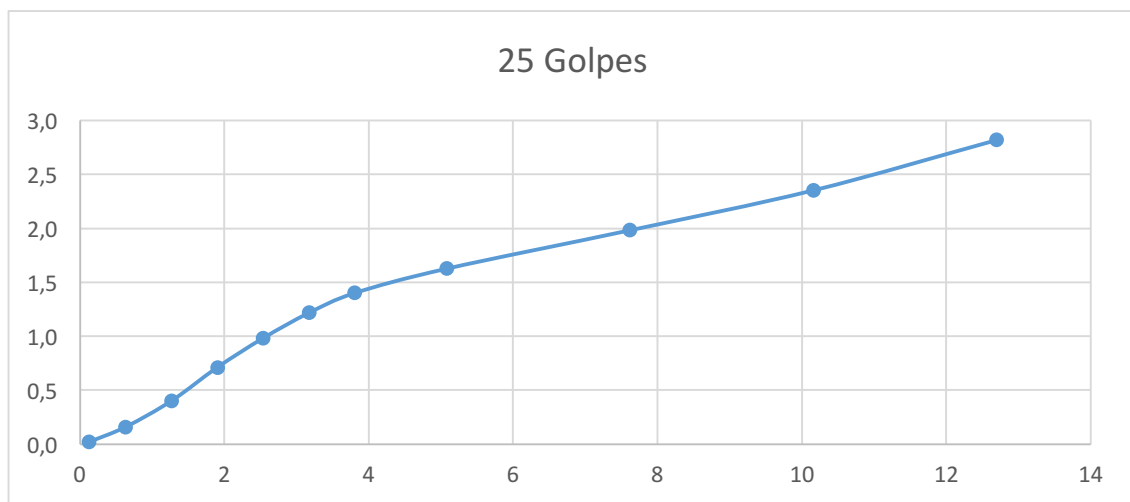
$$\rho_{\text{seca}} = 1,65 \text{ g/cm}^3$$

Tabla 12. CBR a 25 golpes.

25 Golpes				
Penetración (in)	Carga (lb)	Presión (lb/in ²)	Penetración (mm)	Esfuerzo (Mpa)
0,005	9	3	0,127	0,0
0,025	70	23	0,635	0,2
0,05	175	58	1,27	0,4
0,075	310	103	1,905	0,7
0,100	428	143	2,54	0,98
0,125	530	177	3,175	1,2
0,150	610	203	3,81	1,4
0,200	708	236	5,08	1,6
0,300	863	288	7,62	2,0
0,400	1024	341	10,16	2,4
0,500	1227	409	12,7	2,8
Peso capsula (gr)		26,95		
Peso húmedo (gr)		121,78		
Peso seco (gr)		106,65		
Humedad %		14,19		

Fuente: Autor del Proyecto

Grafica 3. CBR a 25 golpes.



Fuente: Autor del Proyecto

- **Relación de soporte (CBR).**

$$\text{CBR (25,4mm)} = (0,98 / 6,9) * 100 = 14,2$$

$$\text{CBR (50,8mm)} = (1,6 / 10,3) * 100 = 15,53$$

- **Peso unitario seco.**

$$M_{\text{sac}} = (13089 - 8750) / (1 + 0,1421) = 3799,14 \text{ g}$$

$$\text{Vol. Molde} = \pi * h * r = \pi * (11,8) * (7,6)^2 = 2141,20 \text{ cm}^3$$

- **Densidad seca.**

$$\rho_{\text{seca}} = M_{\text{sac}} / V_{\text{molde}} = (3799,14) / (2141,20)$$

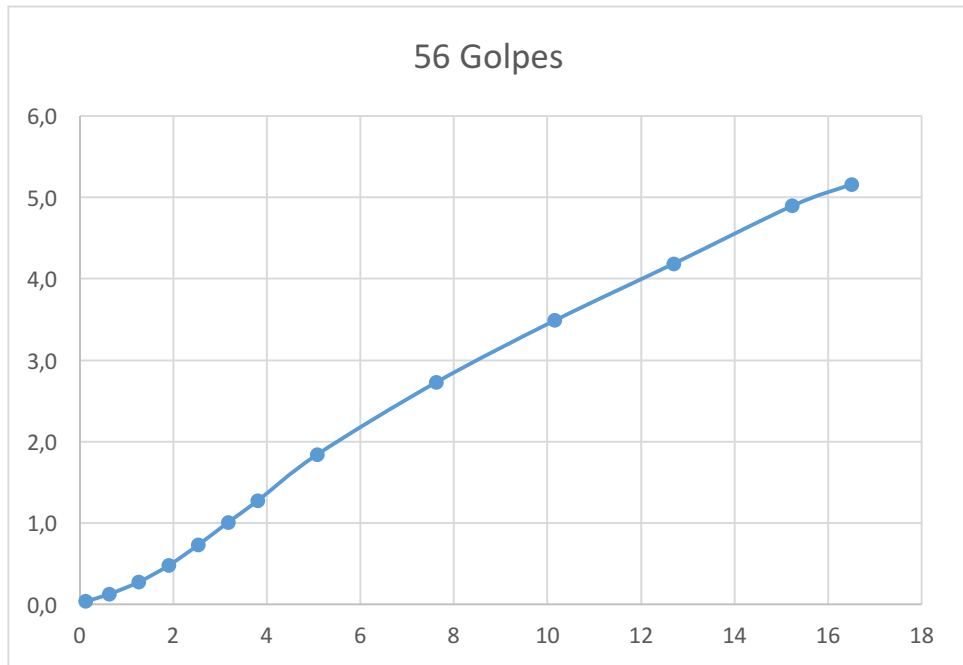
$$\rho_{\text{seca}} = 1,77 \text{ g/cm}^3$$

Tabla 12. CBR a 56 golpes.

56 Golpes				
Penetración (in)	Carga (lb)	Presión (lb/in ²)	Penetración (mm)	Esfuerzo (Mpa)
0,005	18	6	0,127	0,0
0,025	57	19	0,635	0,1
0,05	122	41	1,27	0,3
0,075	210	70	1,905	0,5
0,100	320	107	2,54	0,7
0,125	440	147	3,175	1,0
0,150	556	185	3,81	1,3
0,200	802	267	5,08	1,8
0,300	1187	396	7,62	2,7
0,400	1518	506	10,16	3,5
0,500	1821	607	12,7	4,2
0,600	2130	710	15,24	4,9
0,650	2245	748	16,51	5,2
Peso capsula (gr)		20,91		
Peso húmedo (gr)		104,7		
Peso seco (gr)		90,18		
Humedad %		16,10		

Fuente: Autor del Proyecto

Gráfica 4. CBR a 56 golpes.



Fuente: Autor del Proyecto

- **Relación de soporte (CBR).**

$$\text{CBR (25,4mm)} = (0,7 / 6,9) * 100 = 10,14$$

$$\text{CBR (50,8mm)} = (1,8 / 10,3) * 100 = 17,45$$

- **Peso unitario seco.**

$$M_{\text{sac}} = (13354 - 8750) / (1 + 0,1635) = 3957,02 \text{ g}$$

$$\text{Vol. Molde} = \pi * h * r = \pi * (11,8) * (7,6)^2 = 2141,20 \text{ cm}^3$$

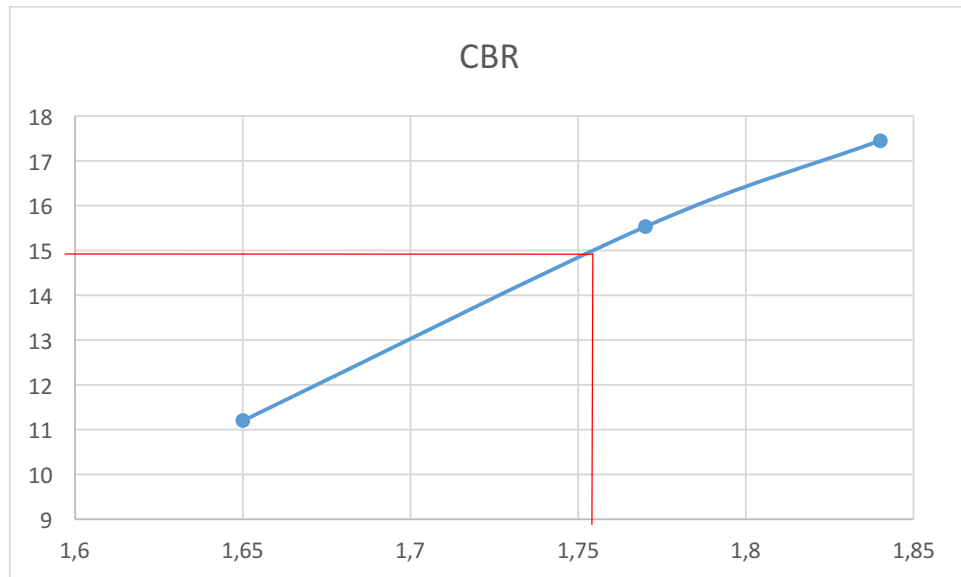
- **Densidad seca.**

$$\rho_{\text{seca}} = M_{\text{sac}} / V_{\text{molde}} = (3957,02) / (2141,20)$$

$$\rho_{\text{seca}} = 1,84 \text{ g/cm}^3$$

- Para calcular el valor final del CBR, se obtiene de la gráfica Densidad seca vs CBR y de acuerdo con los resultados anteriores se puede calcular el CBR.

Gráfica 5. CBR de diseño.



Fuente: Autor del Proyecto

El CBR de diseño se calcula con el 95% del γ_d , con ese valor se entra en la gráfica del CBR y se obtiene el valor del CBR de diseño.

El CBR de diseño es: 14,91 %

4.1.4. Calculo de módulo resiliente de la sub rasante del sitio. Para el cálculo del módulo resiliente de la subrasante se recurrió al libro de “ingeniería de pavimentos” elaborado por el ingeniero Alfonso Montejo. En el capítulo 7.6 del mismo, explica el método de diseño AASHTO y se extrajo de ahí la fórmula de módulo M_r (psi) de la subrasante es:

$$M_r = 3000 * \text{CBR} \%$$

$$M_r = 3000 * 0,1491$$

Mr = 447,3 Psi

4.1.5 Calculo del módulo resiliente de la subbase granular. Como en el modelamiento de la estructura de pavimento es necesario introducir los módulos resilientes en el software, es necesario tomar de la norma los valores mínimos requeridos ya que no está aún en ejecución entonces se modelará con el capítulo 3 de la norma INVIAS 2013, artículo 320. De la imagen se extrae el valor de CBR para proceder a calcular el Mr.

Imagen 48. Tabla Invias de subbase granular.

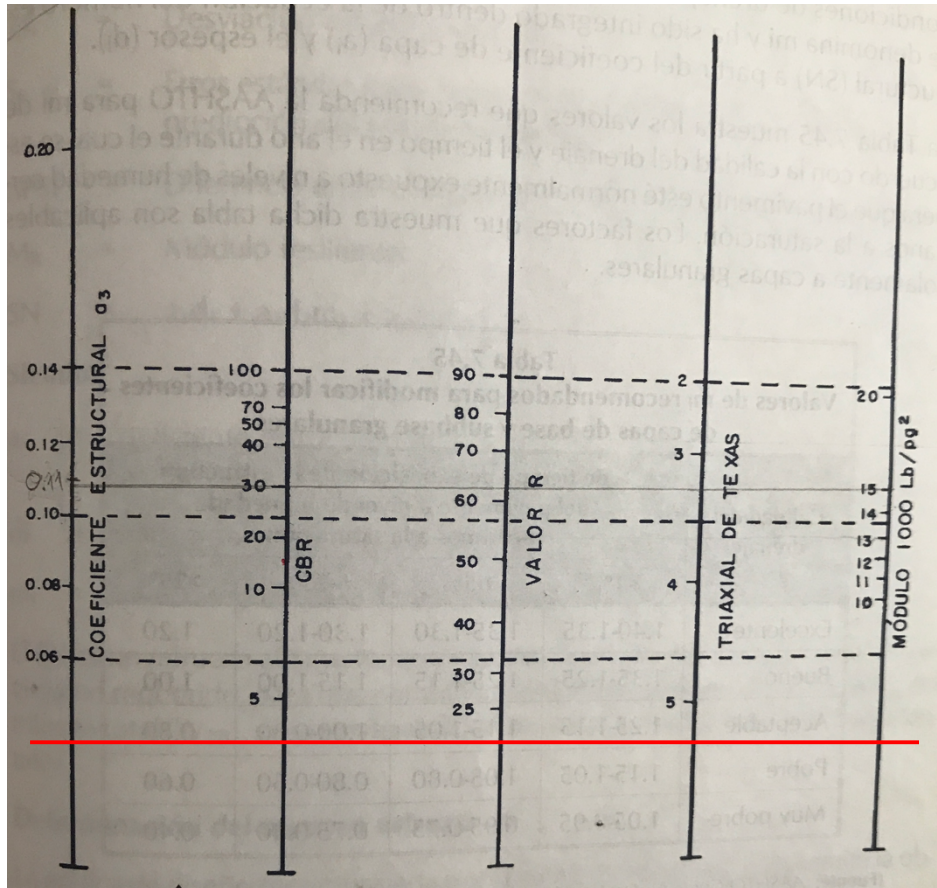
CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	SUB-BASE GRANULAR		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - 500 revoluciones (%)	E-218	50	50	50
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	35	30
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	12 18	12 18	12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	25	25
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	6	6	6
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	25	25	25
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%)	E-211	2	2	2
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al valor mínimo especificado de la densidad seca, medido en una muestra sometida a cuatro días de inmersión, mínimo.	E-148	30	30	40

Fuente: Normas técnicas INVIAS 2013, capítulo 3 – artículos 320.

Se tomó la categoría de “clase C” de la norma, ya que es una vía de poco movimiento y de una carga baja es decir el CBR del 30% para la sub base. Para el

cálculo del M_r de la subbase se entró en la imagen, con el valor del CBR y se obtuvo que el módulo resiliente de la subbase es 15000Psi, $M_{r \text{ Subbase}} = 15000 \text{ psi}$.

Imagen 49. Tabla de módulo resiliente de subbase.



Fuente: "AASHTO guide for desing of pavement structures, 1993", y del libro ingeniería de pavimentos de Alfonso Montejo capítulo 7.

4.1.6. Calculo módulo resiliente de la base granular. Para el cálculo del M_r de la base granular se efectuó el mismo ejercicio que para la subbase y se recurrió a la norma, para esto fue necesario tomar de esta los valores mínimos requeridos ya que no está aún en ejecución entonces se modelará con el capítulo 3 de la norma

Invias 2013, artículo 320. De la imagen 50 se extrae el valor de CBR para proceder a calcular el Mr.

Imagen 50. CBR de la base granular.

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	BASE GRANULAR		
		CLASE C	CLASE B	CLASE A
Dureza (O)				
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	40 8	40 8	35 7
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	-	30	25
Evaluación de la resistencia mecánica por el método del 10 % de finos - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	E-224	- -	70 75	90 75
Durabilidad (O)				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	12 18	12 18	12 18
Limpieza (F)				
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	-	-
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	3	0	0
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	30	30	30
Valor de azul de metileno, máximo (Nota 1)	E-235	10	10	10
Contenido de terrones de arcilla y partículas deleznable, máximo (%)	E-211	2	2	2
Geometría de las Partículas (F)				
Índices de alargamiento y aplanamiento, máximo (%)	E-230	35	35	35
Caras fracturadas, mínimo (%) - Una cara - Dos caras	E-227	50 -	70 50	100 70
Angularidad de la fracción fina, mínimo (%)	E-239	-	35	35
Resistencia del material (F)				
CBR (%): porcentaje asociado al grado de compactación mínimo especificado (numeral 330.5.2.2.2); el CBR se medirá sobre muestras sometidas previamente a cuatro días de inmersión.	E-148	≥ 80	≥ 80	≥ 95

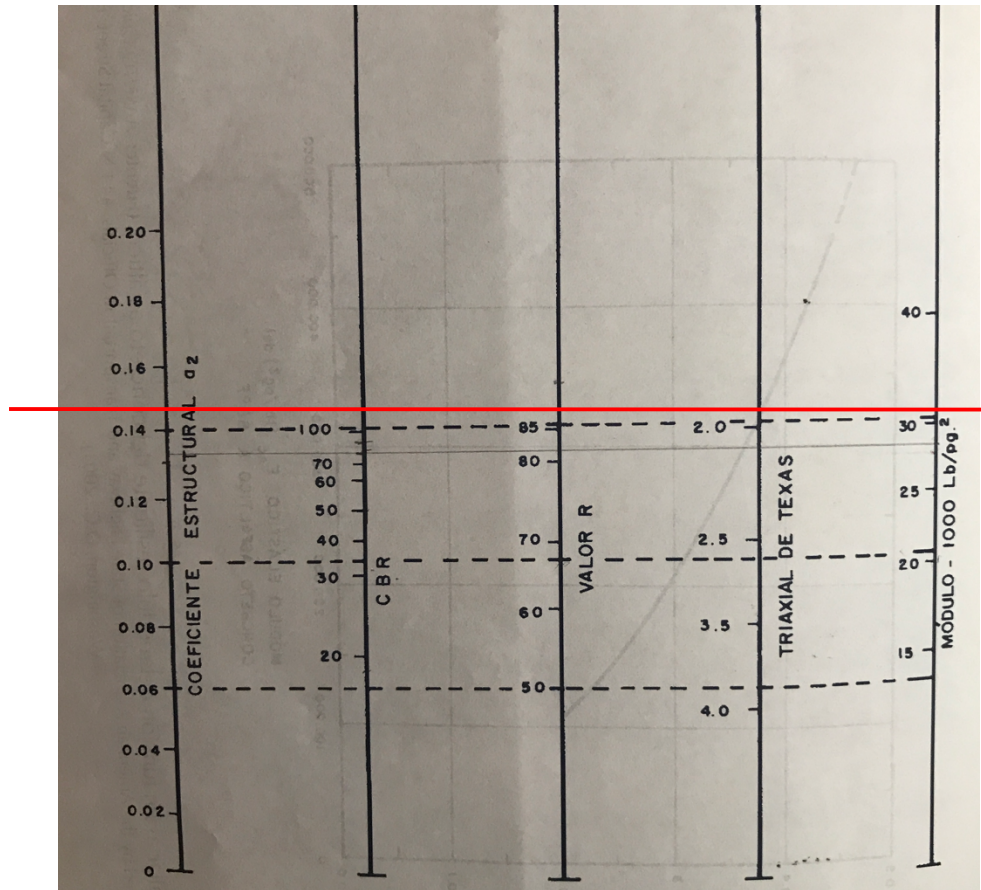
Fuente: Normas técnicas INVIAS 2013, capítulo 3 – artículos 330.

Se tomó la categoría de “clase C” de la norma, ya que es una vía de poco movimiento y de una carga baja. Se toma un CBR del 85% para el cálculo del Mr de la base.

Se entró en la imagen 52 con el CBR del 85% y se estimó el valor del módulo resiliente de la base de 28000 psi.

$$Mr_{Base} = 28000 \text{ psi}$$

Imagen 51. Módulo resiliente de base granular.



Fuente: "AASHTO guide for desing of pavement structures, 1993", y del libro ingeniería de pavimentos de Alfonso Montejo capítulo 7.

4.2 ESTUDIO DE TRÁNSITO

Para el estudio de tránsito de la universidad pontificia bolivariana, seccional Bucaramanga, se obtuvieron los datos gracias a la empresa de seguridad que tiene un conteo de cada vehículo y el tipo de vehículo que entra y pasa por el tramo en cuestión de este proyecto.

Para el estudio de tránsito fue necesario hablar con el jefe de seguridad; Jhon Regueros, de la universidad para los datos de los ingresos de vehículos a la universidad.

4.2.1. Tránsito promedio diario. El tránsito promedio diario se muestra en la imagen, donde se puede observar que están los datos cada hora de un día.

Tabla 13. Tránsito promedio diario.

PROMEDIO DE INGRESO VEHÍCULOS AÑO 2016							
HORAS	AUTOMÓVILES	MOTOCICLETAS	BICICLETAS	BUSES	FURGONES	CAMIONES	VOLQUETAS
05:00 A 06:00	72	25	3	0	0	0	0
06:00 A 07:00	296	94	7	0	1	0	0
07:00 A 08:00	346	96	0	0	0	0	0
08:00 A 09:00	258	92	0	2	1	2	1
09:00 A 10:00	156	46	0	0	1	1	0
10:00 A 11:00	124	55	0	0	0	1	1
11:00 A 12:00	79	30	1	2	0	2	1
12:00 A 13:00	124	33	1	0	0	0	0
13:00 A 14:00	232	60	0	0	0	0	0
14:00 A 15:00	132	72	0	0	0	0	0
15:00 A 16:00	136	38	1	0	0	1	0
16:00 A 17:00	128	39	0	0	0	1	0
17:00 A 18:00	105	24	0	0	0	1	0
TOTAL	2188	704	13	4	3	9	3

Fuente: Oficina de seguridad – universidad pontificia bolivariana.

- Los datos anteriores de la tabla son los promedios, por hora, de ingreso de vehículos. Se puede observar que el vehículo de mayor ingreso es el automóvil. Lo totales son:

- Automóviles: 2188.
- Motocicletas: 704.
- Bicicletas: 13.
- Buses: 4.
- Furgones: 3.
- Camiones: 9.
- Volquetas: 3.

4.2.2. Tasa de crecimiento del tráfico en la sección de los parqueaderos:

Imagen 52. Crecimiento zona de parqueadero.

ITEM	201010	201020	201110	201120	201210	201220	201310	201320	201410	201420	201510	201520	201610
CUPOS VEHÍCULOS	267	276	352	401	486	538	536	536	636	636	611	737	672
CUPOS MOTOCICLETAS	84	96	102	87	140	140	160	160	160	160	160	160	190

ITEM	201010	201020	201110	201120	201210	201220	201310	201320	201410	201420	201510	201520	201610
CUPOS VEHÍCULOS	267	276	352	401	486	538	536	536	636	636	611	737	672
AUMENTO CUPOS	0	9	76	49	85	52	-2	0	100	0	-25	126	-65
	0	3.37%	27.53%	13.92%	21.19%	10.69%	0%	0%	18.65%	0%	0%	20.62%	0%
ANUAL	3.37%		41.45%		31.88%		0%		18.65%		20.62%		115.975

CRECIMIENTO PARQUE AUTOMOTOR	2011	2012	2013	2014	2015	
PORCENTAJE	49.53%	9.92%	9.83%	6.12%	6.52%	81.92%

Fuente: Oficina de seguridad – universidad pontifica bolivariana.

Actualmente en el departamento de seguridad no poseen los datos del promedio de vehículos en los años anteriores, ya que el sistema se implementó hasta hace poco. Los datos en la imagen 52 muestran el crecimiento y ampliación de espacios en el transcurso del tiempo, con esto se puede sacar una estimación de la tasa de crecimiento.

Para el cálculo de la tasa se hará un promedio entre los crecimientos de los pasados dos años; es decir desde el 2014 hasta el 2016. El cálculo de la tasa tiene mucha relación ya que representa en espacio el aumento para la capacidad y puede que no diga el valor exacto de vehículos pero se puede sacar un valor significativo.

Para el cálculo de la tasa entonces se promedió los porcentajes:

$$\tau_{\text{promedio}} = (20,62+18,65) / 2$$

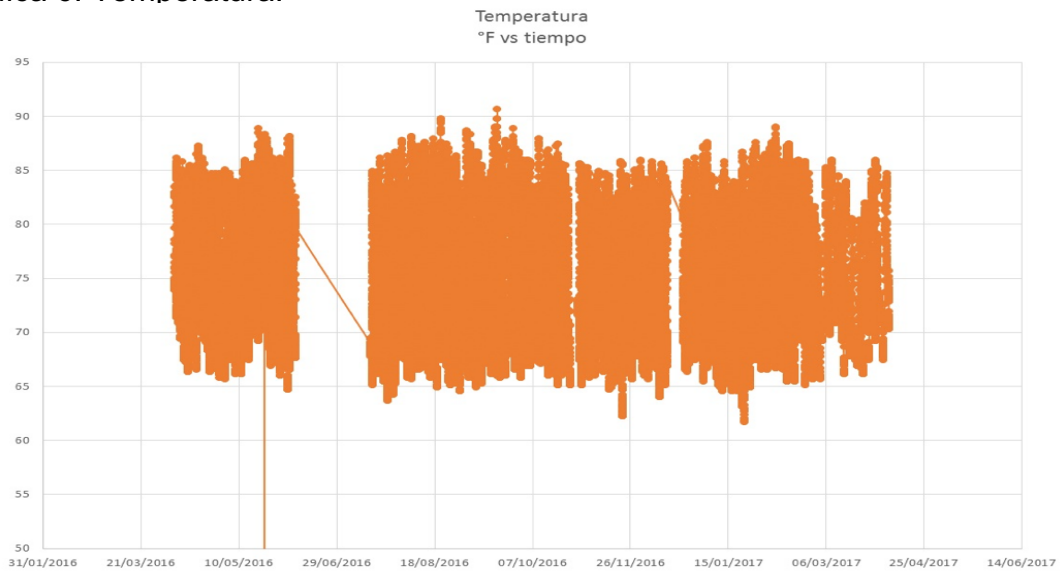
$$\tau_{\text{promedio}} = 19,63 \%$$

4.3. CLIMA

El programa; dentro de sus datos de ingreso, pide la inserción de datos climáticos como, precipitación, temperatura, porcentaje de luz solar para hacer el diseño más completo y los cálculos más aproximados a la realidad y poder reducir y optimizar materiales en el diseño de la estructura de pavimento.

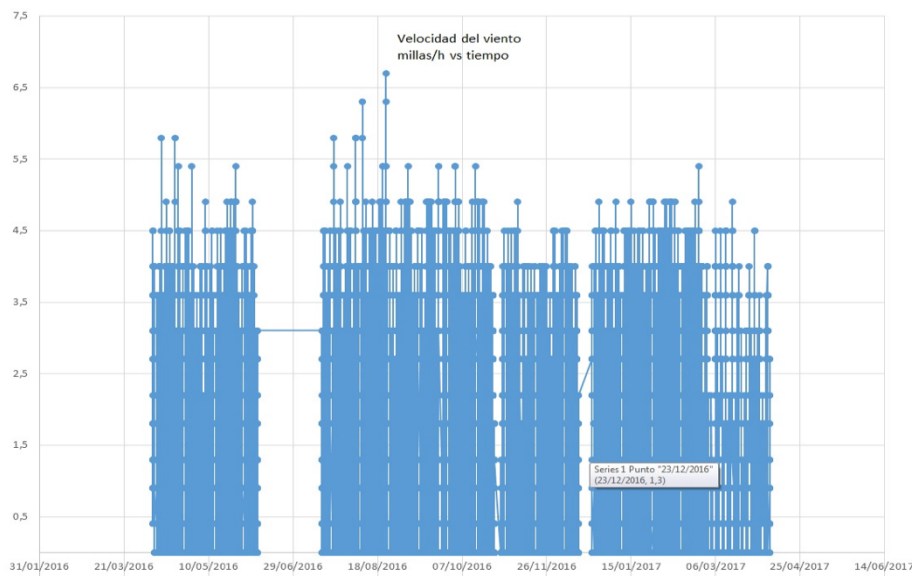
Los datos de clima fueron proporcionados por la universidad pontificia bolivariana seccional Bucaramanga por el ingeniero Juan Carlos Forero encargado del área. Fueron suministrados los datos de un año especificando hora por hora las medidas y como son demasiados datos de dejará un anexo con la tabla de Excel. Se graficó las variables de ingreso del clima en función del tiempo y dieron resultados como muestran las gráficas 6,7,8,9,10 y 11.

Grafica 6. Temperatura.



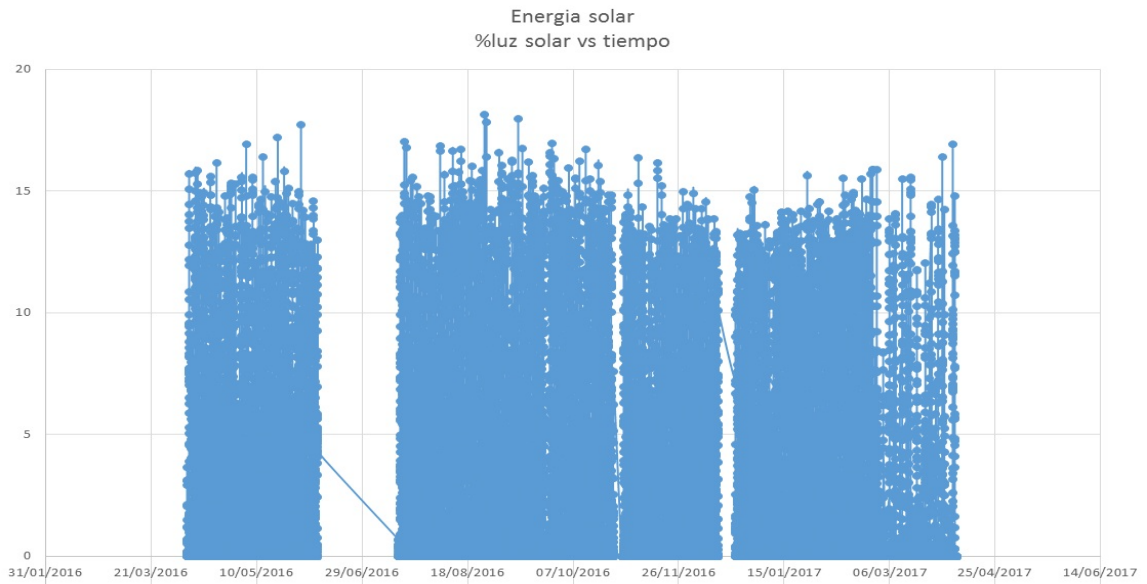
Fuente: Estaciones climáticas de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

Grafica 7. Velocidad del viento.



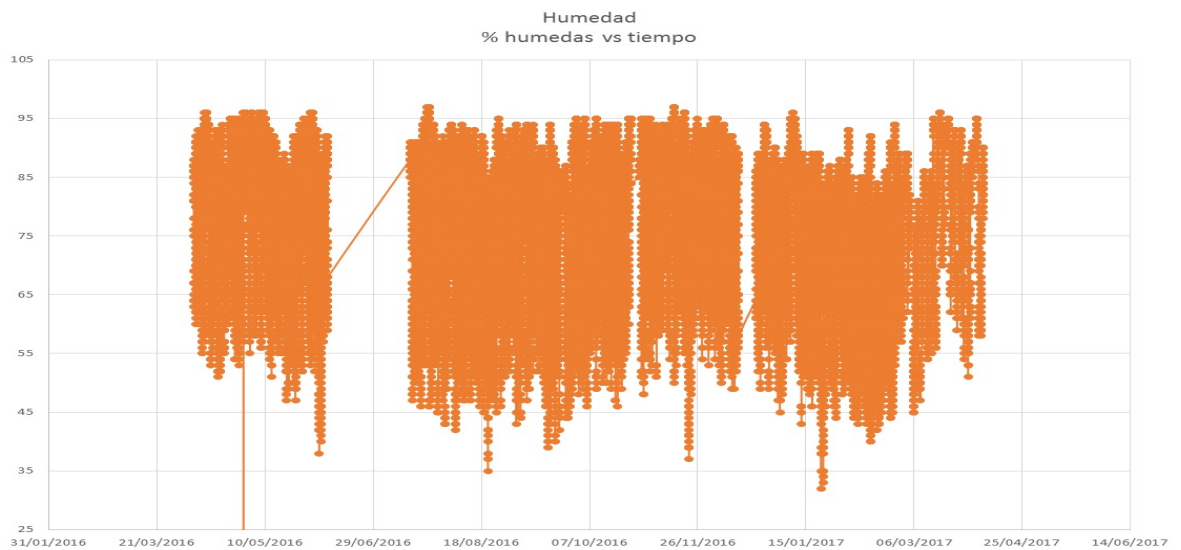
Fuente: Estaciones climáticas de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

Grafica 8. Porcentaje de luz solar.



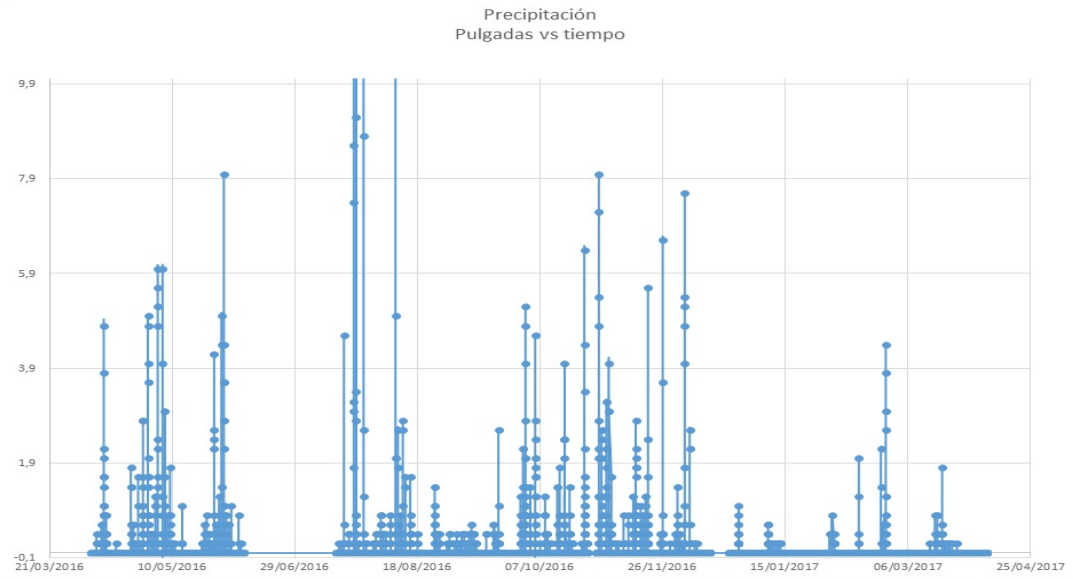
Fuente: Estaciones climáticas de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

Grafica 9. Porcentaje de humedad.



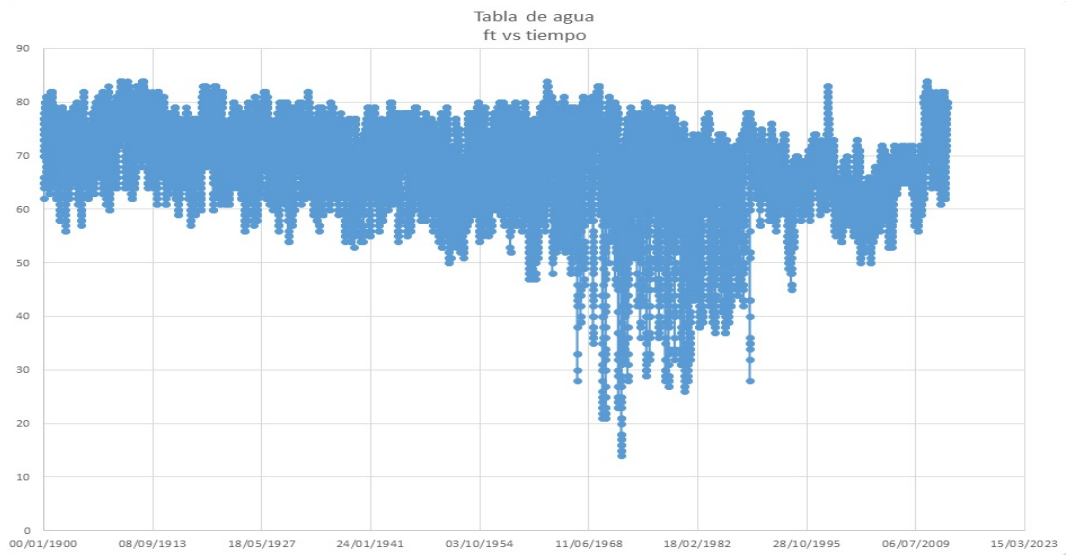
Fuente: Estaciones climáticas de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

Grafica 10. Precipitación.



Fuente: Estaciones climáticas de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

Grafica 11. Tabla del agua.



Fuente: Estaciones climáticas de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.

5. RESULTADOS

A continuación se mostrará la descripción de los datos a insertar en el diseño de la estructura de pavimento, según los resultados que se obtuvieron del laboratorio. Hay otros campos a llenar que estarán por default; es decir que se dejaran los del programa, ya que los datos que posee el programa son los valores o coeficientes según la norma AASHTO americana.

5.1 DATOS DE SUELO INSERTADOS EN EL PROGRAMA

Para los datos que se deben insertar se procede de la siguiente forma:

- Los datos principales son los módulos resilientes de las capas de la estructura de pavimento. Para este diseño se emplearan 3 capas, la subbase granular; con el módulo resiliente calculado en el numeral 6.1.5, la base granular con Mr calculado en el numeral 6.1.6 y el Mr de la subrasante que fue calculado con todo el procedimiento del laboratorio. En las imágenes 52 y 53.se ve como se inserta el módulo resiliente de las capas de la estructura de pavimento.

Imagen 53. Ingreso del módulo resiliente subbase

Click here to edit Layer 1 Flexible : Default asphalt conc

Click here to edit Layer 2 Non-stabilized Base : A-1-a

Click here to edit Layer 3 Subgrade : A-3

Click here to edit Layer 4 Subgrade : A-2-5

Layer thickness (in)	<input checked="" type="checkbox"/>	6
Poisson's ratio	<input checked="" type="checkbox"/>	0.35
Coefficient of lateral earth pressure (k0)	<input checked="" type="checkbox"/>	0.5
Modulus		
Resilient modulus (psi)	<input checked="" type="checkbox"/>	15000
Sieve		
Gradation & other engineering properties	<input checked="" type="checkbox"/>	A-3
Identifiers		
Display name/identifier		A-3
Description of object		Default material
Approver		
Date approved		1/1/2011
Author		AASHTO
Date created		1/1/2011
County		

Resilient modulus (psi)
Enter the resilient modulus of the unbound materials and subgrade.

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Imagen 54. Módulo resiliente de la base.

Layer 2 Non-stabilized Base:A-1-a

Click here to edit Layer 1 Flexible : Default asphalt conc

Click here to edit Layer 2 Non-stabilized Base : A-1-a

Click here to edit Layer 3 Subgrade : A-3

Click here to edit Layer 4 Subgrade : A-2-5

Layer thickness (in)	<input checked="" type="checkbox"/>	5
Poisson's ratio	<input checked="" type="checkbox"/>	0.35
Coefficient of lateral earth pressure (k0)	<input checked="" type="checkbox"/>	0.5
Modulus		
Resilient modulus (psi)	<input checked="" type="checkbox"/>	28000
Sieve		
Gradation & other engineering properties	<input checked="" type="checkbox"/>	A-1-a
Identifiers		
Display name/identifier		A-1-a
Description of object		Default material
Approver		
Date approved		1/1/2011
Author		AASHTO
Date created		1/1/2011
County		

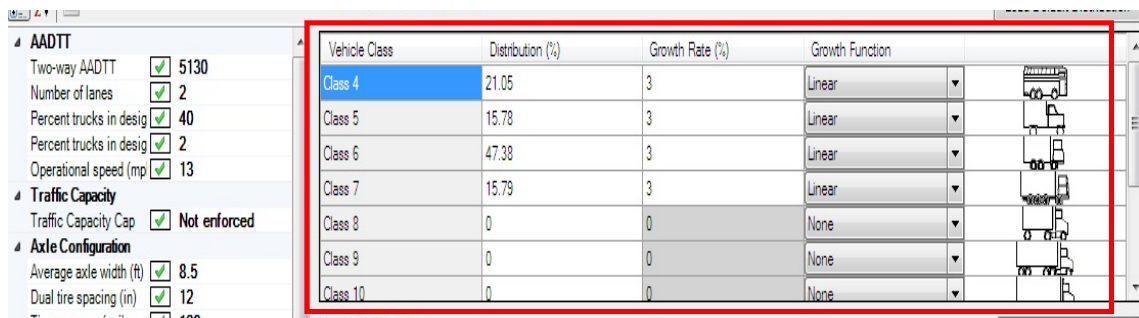
Resilient modulus (psi)
Enter the resilient modulus of the unbound materials and subgrade.








Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

5.2 DATOS DE TRANSITO INSERTADOS EN EL PROGRAMA

Para los datos de tránsito se usaron los datos calculados en los numerales 6.2, 6.2.1 y 6.2.2. Se introdujeron los porcentajes de tránsito. El programa no necesita los datos como el factor camión o número de ejes equivalentes ya que el los calcula al meter la cantidad de tráfico y los porcentajes de vehículos. El programa es para diseñar estructuras de pavimento con bastante carga y cuando se estuvo modelando en el programa se introdujeron los datos de los vehículos pesados ya que no considera relevantes a las motos o vehículos liviano en el diseño de la estructura, por ende solo se ingresaron lo valores de vehículos más pesados como si fueran el total de vehículos. En la imagen 54 se puede ver los datos ingresados.

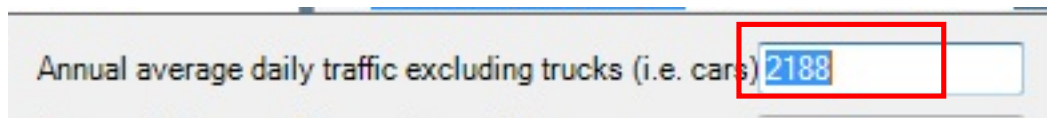
Imagen 55. Datos porcentaje de tránsito.



Vehicle Class	Distribution (%)	Growth Rate (%)	Growth Function	
Class 4	21.05	3	Linear	
Class 5	15.78	3	Linear	
Class 6	47.38	3	Linear	
Class 7	15.79	3	Linear	
Class 8	0	0	None	
Class 9	0	0	None	
Class 10	0	0	None	

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Imagen 56. Total de vehículos.

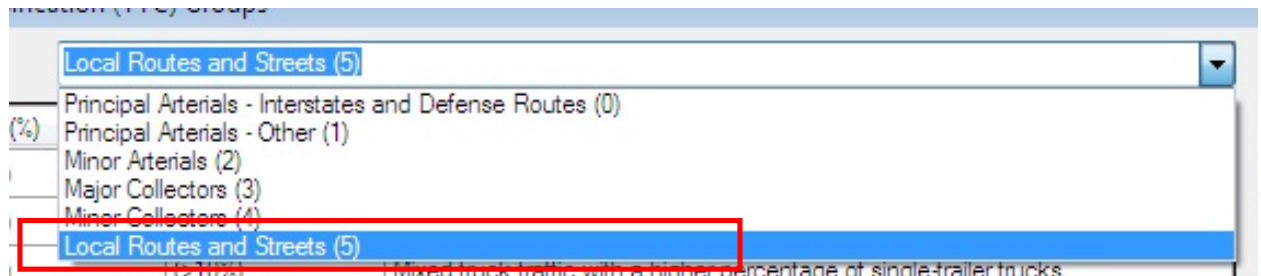


Annual average daily traffic excluding trucks (i.e. cars)

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

En la imagen 56 se observa que se ingresaron el total de vehículos (automóviles para que aun así los tuviera en cuenta el programa).

Imagen 57. Tipo de vía de diseño.



Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

La imagen 57 muestra la selección de ruta menor, local y calles haciendo referencia y énfasis en que la velocidad no va a ser mayor a 40 mph y que el tráfico no será pesado.

5.3 DATOS DE CLIMA INSERTADOS EN EL PROGRAMA

En el software se ingresaron los valores suministrados por las estaciones climáticas, antes mencionadas en el numeral 6.3 con lo que se importaron los datos al programa en cada casilla y en las unidades requeridas por el programa ajustados a los límites del programa.

Igualmente se insertó la altitud de Piedecuesta, con sus coordenadas de altitud y latitud, al igual que la altura sobre el nivel del mar.

En la imagen 58 se observan las dos partes seleccionadas; la parte derecha con los datos de Piedecuesta respecto a sus características topográficas y la parte izquierda con sus valores ingresados de precipitación, luz solar, etc.

Imagen 58. Datos estaciones climáticas de la universidad pontificia bolivariana - seccional Bucaramanga.

The screenshot displays the AASHTOWare Pavement software interface. On the left, the 'Climate Station' metadata is shown, including coordinates, elevation, and station details. On the right, a data table provides hourly weather data for April 1, 2016.

Date/Hour	Temperature (deg F)	Wind Speed (mph)	Sunshine (%)	Precipitation (in.)	Humidity (%)	Water Table (#)
4/1/2016 12:00:00	28.8	1.8	4	0	63	34.2
4/1/2016 1:00:00	28.8	3.6	3.11	0	62	32.6
4/1/2016 2:00:00	28.6	4	3.1	0	64	32
4/1/2016 3:00:00	28.1	2.7	2.9	0	65	32.6
4/1/2016 4:00:00	28.2	3.6	3.64	0	65	32.8
4/1/2016 5:00:00	28.3	3.1	2.11	0	65	31.7
4/1/2016 6:00:00	28.3	3.6	1.49	0	66	30.4
4/1/2016 7:00:00	28.1	4	2.06	0	66	30.6
4/1/2016 8:00:00	27.6	3.1	1.22	0	70	29.1
4/1/2016 9:00:00	26.5	4.5	1.19	0	71	27.2
4/1/2016 10:00:00	25.9	3.6	0.69	0	70	26.9
4/1/2016 11:00:00	25.7	4.5	0.63	0	71	25.6
4/1/2016 12:00:00	25.1	2.7	0.63	0	72	26.7
4/1/2016 1:00:00	25	3.1	0.63	0	74	26.4
4/1/2016 2:00:00	24.7	2.7	0.67	0	73	26.3
4/1/2016 3:00:00	24.5	1.3	0.52	0	73	25.9
4/1/2016 4:00:00	24.4	1.3	0.19	0	73	25.2
4/1/2016 5:00:00	24.2	1.8	0.14	0	73	24.8
4/1/2016 6:00:00	23.9	1.8	0.16	0	74	24.8
4/1/2016 7:00:00	23.8	1.3	0.09	0	74	24.6
4/1/2016 8:00:00	23.7	0.9	0	0	75	24.3
4/1/2016 9:00:00	23.7	1.3	0	0	75	24.1
4/1/2016 10:00:00	23.7	1.3	0	0	76	24.1

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

5.4 CORRER EL PROGRAMA.

Con los datos anteriormente insertados en el programa, se debe verificar que en la parte inferior de la pantalla no aparezca ningún tipo de error. Teniendo todo verificado y chequeado se procede a darle al programa correr. En las imágenes 43, 44 y 45 ilustran el procedimiento que genera el software cuando se está corriendo el programa.

5.5 ANÁLISIS FINAL

Una vez corrido el programa, este genera un archivo PDF en el que muestra todos los análisis que se generaron. En la primera hoja viene un resumen de los datos ingresados en el que se ven los datos de periodo de diseño, los espesores estimados de las capas y en caso que los espesores no cumplan, él va a producir un “NO PASS” y se debe volver a estimar el espesor de la capa para que cumpla con las cargas puestas por el programa.

En el programa primero se modelo con espesores más grandes y al ver que cumplían; como muestra la imagen 58, se volvió al programa bajar los grosores de las capas para optimizar el diseño. Una vez hecho esto se volvió a correr el programa con nuevos espesores mostrados en la imagen 59 y fueron estos espesores los que se tomaron como definitivos para el diseño de la estructura de pavimento.

Imagen 59. Diseño de pavimento flexible mayorado.



tesis

File Name: C:\Users\K52004\Desktop\tesis.dgpx



Design Inputs

Design Life: 20 years Base construction: November, 2017 Climate Data 35.061, -89.985
 Design Type: FLEXIBLE Pavement construction: January, 2018 Sources (Lat/Lon) 40.04, -88.278
 Traffic opening: June, 2018

Design Structure

Layer type	Material Type	Thickness (in)
Flexible	Default asphalt concrete	8.0
NonStabilized	A-1-a	10.0
Subgrade	A-3	12.0
Subgrade	A-2-5	Semi-infinite

Volumetric at Construction:

Effective binder content (%)	11.6
Air voids (%)	7.0

Traffic

Age (year)	Heavy Trucks (cumulative)
2018 (initial)	5,130
2028 (10 years)	170,135
2038 (20 years)	385,239

Design Outputs

Distress Prediction Summary

Distress Type	Distress @ Specified Reliability		Reliability (%)		Criterion Satisfied?
	Target	Predicted	Target	Achieved	
Terminal IRI (in/mile)	172.00	134.52	90.00	99.56	Pass
Permanent deformation - total pavement (in)	0.75	0.01	90.00	100.00	Pass
AC bottom-up fatigue cracking (% lane area)	25.00	1.45	90.00	100.00	Pass
AC thermal cracking (ft/mile)	1000.00	27.17	90.00	100.00	Pass
AC top-down fatigue cracking (ft/mile)	2000.00	256.48	90.00	100.00	Pass
Permanent deformation - AC only (in)	0.25	0.00	90.00	100.00	Pass

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Imagen 602. Diseño final del pavimento flexible.



tesis

File Name: C:\Users\K52004\Desktop\tesis.dgpx



Design Inputs

Design Life: 20 years Base construction: November, 2017 Climate Data 35.061, -89.985
 Design Type: FLEXIBLE Pavement construction: January, 2018 Sources (Lat/Lon) 40.04, -88.278
 Traffic opening: June, 2018

Design Structure

Layer type	Material Type	Thickness (in)
Flexible	Default asphalt concrete	1.5
NonStabilized	A-1-a	2.0
Subgrade	A-3	3.0
Subgrade	A-2-5	Semi-infinite

Volumetric at Construction:	
Effective binder content (%)	11.6
Air voids (%)	7.0

Traffic

Age (year)	Heavy Trucks (cumulative)
2018 (initial)	5,130
2028 (10 years)	170,135
2038 (20 years)	385,239

Design Outputs

Distress Prediction Summary

Distress Type	Distress @ Specified Reliability		Reliability (%)		Criterion Satisfied?
	Target	Predicted	Target	Achieved	
Terminal IRI (in/mile)	172.00	134.52	90.00	99.56	Pass
Permanent deformation - total pavement (in)	0.75	0.01	90.00	100.00	Pass
AC bottom-up fatigue cracking (% lane area)	25.00	1.45	90.00	100.00	Pass
AC thermal cracking (ft/mile)	1000.00	27.17	90.00	100.00	Pass
AC top-down fatigue cracking (ft/mile)	2000.00	256.48	90.00	100.00	Pass
Permanent deformation - AC only (in)	0.25	0.00	90.00	100.00	Pass

Fuente: Tomado y ajustado del software AASHTOWare Pavement.

Nota: cuando se está haciendo toda la parte de la inserción de los datos se debe tener en cuenta que al programa se le deben introducir lo espesores propuestos; es decir que el diseñador debe introducir el valor estimado del grosor de las capas de la estructura del pavimento, y una vez corrido el programa este le dirá si el espesor estimado cumple o no cumple.

5.6 DISEÑO POR MÉTODO AASHTO (1993).

Cumpliendo con los objetivos del trabajo de grado, se diseñará por el método AASHTO de 1993 para comparar con el diseño propuesto por el software.

5.7 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO ESTRUCTURAL.

Con los datos de tránsitos del numeral 6.2, los valores de tránsito diario, se llevaron a cabo los cálculos para insertarlos en el nomograma de la gráfica de diseño para pavimento flexible basada en valores promedios de los diferentes datos de entrada tomadas del método de diseño AASHTO 1993 del libro de Montejó y se obtuvo un valor de **SN = 3,6**. Teniendo el SN, se prosigue con el diseño.

5.8 SELECCIÓN DE LOS ESPESORES DE LAS CAPAS.

Para calcular los espesores de las capas se aplica la fórmula:

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3.$$

Cada D_n hace referencia a los espesores de la estructura de pavimento. Con esta fórmula se va despejando los espesores ya que se tiene en SN y los a_i que son constantes dependientes de los módulos resilientes de cada capa.

Entonces:

$$D_1 \geq SN/a_1$$

$$D_1 = 2,5 / 0,39 = 6,41 \text{ Pulg.} \text{ -- Espesor concreto asfáltico}$$

$$SN_1 = a_1 \cdot D_1 = 0,39 \cdot 6 = 2,34$$

$$SN (\text{Base granular}) = 3,6 - 2,34 = 1,26$$

$$D2 = [1,26 / (0,145 * 1,15)] = 7,56 \text{ Pulg.}$$

$$SN2^* = 0,145 * 1,15 * 7 = 1,16$$

$$SN (\text{Subbase}) = 3,6 - (1,16+1,26) = 0,74$$

$$D3 = 0,74 / (0,11 * 1,15) = 6,16 \text{ Pulg.}$$

5.9 RESULTADOS:

Con las ecuaciones anteriores se obtuvieron los resultados de los espesores de cada capa de la estructura de pavimento, a continuación se encuentran los espesores de diseño:

Carpeta de rodadura: 6 pulg

Base granular: 7pulg

Subbase granular: 6 pulg

6. CONCLUSIONES

Se puede concluir que el programa Pavement de AASHTO es un software muy complejo, tiene muchas variables de entrada, datos técnicos y muy específicos y va al detalle con cada paso que se avanza en él, lo cual va minimizando el porcentaje de error y de incertidumbre en el diseño, a medida que se tiene conocimiento de más variables de entrada se puede estimar un diseño más óptimo y con menores espesores que sigan cumpliendo con las cargas y datos suministrados para ahorrar dinero en la fase de construcción.

El software es bastante sofisticado y muy preciso, sin embargo se puede ver que tiene datos por default de la norma AASHTO Americana y está programado para diseñar estructuras de pavimento principalmente en los Estados Unidos ya que cuando se va a insertar los datos del clima solo están guardadas y pre insertados los valores de las estaciones climáticas de dicho país lo cual lleva a usar estaciones con datos insertados por el diseñador.

El método de diseño mecanicista – empírico es un buen modelo de diseño de estructuras de pavimento por que combina la parte racional, técnica y científica de; los conocimientos de los suelos, capacidad portante, coeficientes de temperatura y muchos otros más, con la estimación de las dimensiones dando un toque de arte a diseño ya que esta en las manos de la persona que diseñe los espesores que tenga a bien elegir para el proyecto.

Con el método AASHTO de 1993 se observó que el diseño de la estructura de pavimento, dio bastante mayor en comparación con el método de diseño el software. El método de diseño AASHTO de 1993 es un método muy empírico, no toma en cuenta muchos datos de entrada, como por ejemplo los datos del clima, no hace iteraciones o cálculos respecto a las condiciones climáticas; si tiene unos ajustes

por clima y drenaje pero no con datos meteorológicos como si lo posee el programa Pavement. El método AASHTO es una forma de diseñar pero esta algo atrasada con respecto a los algoritmos y programas de el día de hoy ya que los software como pavement son mas exactos y se puede optimizar mas los espesores en los diseños, haciendo que se ahorre dinero en las obras y sean resistentes y duraderos.

El programa se encontraba licenciado en la Universidad y únicamente se podía trabajar en las aulas que estuviera instalado. Debido a esto exigió una demanda de tiempo extra para aprender cómo funcionaba el programa.

El diseño final realizado con el programa es bastante bueno ya que el programa despliega una serie de análisis de cada dato ingresado e incluso muestra las formulas y métodos que fueron utilizados para llevar a cabo el proceso de diseño. Con este nivel de detalle hace que el software sea bastante competente y útil para cualquier diseñador de estructuras de pavimentos.

BIBLIOGRAFÍA

AASHTOWare. Hardware and Software Requirements. System Requirements. 2010. Disponible en: <http://www.aashtoware.org/Pavement/Pages/Hardware-Software-Requirements.aspx>

BRAJA M, DAS. Consistencia del suelo. En: fundamentos de ingeniería geotécnica. México.2001. p.27-29.

COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. CBR de suelos compactados en el laboratorio y sobre muestras inalteradas. (I.N.V. E – 148 – 13).

COLOMBIA. INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS. Determinación de los valores de equilibrio de la masa unitaria seca y de la humedad del suelo de la subrasante (I.N.V. E – 146 – 13).

ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN. Clase cátedra, clasificación de suelos. 2017. Disponible en: http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/03_clases_catedra/clases_catedra_ms1/05_terzaghi_3.pdf.

DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN. Texto guía – pavimentos. 2004. [en línea]. <<https://es.scribd.com/doc/100029576/Libro-de-Pavimentos>> [citado en 18 de junio de 2016]

JIMÉNEZ, José A. Tipos de suelos. En: mecánica del suelo y sus aplicaciones a la ingeniería. Madrid. Editorial DOSSAT, S.A. 1954. p. 126-132.

LEIVA VILLACORTA, Fabricio. Nueva Guía de diseño mecanicista empírica para pavimentos. 2002. Disponible en: Universidad de costa rica, laboratorio LANME, <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/autores/leiva/leiva-06.pdf>

MONTEJO, Alfonso. Ingeniería de Pavimentos, capítulo 1.5.1, pág. 8. 1997. Disponible en: <https://samustuto.files.wordpress.com/2014/09/ingenieric3ada-de-pavimentos-para-carreteras-tomo-i-ed-3ra-alfonso-montejo-fonseca.pdf>

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA. LANME. Nueva Guía de diseño mecanicista empírica para pavimentos. Autor: Ing. LEIVA VILLACORTA, Fabricio. 2002. Disponible en: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/autores/leiva/leiva-06.pdf>

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN SIMÓN. Capítulo II: Generalidades y definiciones sobre los pavimentos [en línea]. <<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/2944/Capitulo2.pdf>> [citado en 18 de junio de 2016]

ANEXOS