

Capítulo 1

COMPARACION ENTRE PROGRAMAS DE DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS EL DARWIN Y EL DEPAV

1 INTRODUCCION

1.1.-Antecedentes

Si bien a la fecha se han efectuando adelantos en cuanto al concepto de diseño estructural de pavimentos es importante mencionar que la comunidad científica internacional continúa investigando estos aspectos, dada la complejidad del comportamiento de los pavimentos en servicio de requerir mayor investigación para llegar a métodos de diseño más precisos.

El presente trabajo realiza un análisis comparativo entre dos programas de diseño pavimentos los cuales son el **Darwin** y el **DEPAV** de los cuales se estudiarán independientemente sus parámetros de diseño, su confiabilidad y su proceso de cálculo de cada uno de los programas con la finalidad de elaborar una propuesta amplia que pueda orientar a los ingenieros viales a tomar una decisión del programa a utilizar en el momento de realizar el diseño del pavimento estructural flexible.

También con la realización de este estudio de comparación de dos programas de diseño estructural para pavimentos flexibles EL DARWIN Y EL DEPAV es el de poder tener un conocimiento de cómo es que estos programas para el diseño estructural trabajan y sacar conclusiones que nos lleven a demostrar cuál de estos programas es más preciso, más rápido, efectivo y confiable a la hora de realizar los diseños estructurales de pavimento flexible.

También con la comparación llegar a conclusiones de cuál de estos dos programas comparados se debe aplicar para distintos tipos de diseño, o si éste es el más adecuado para nuestro medio ya que muchas de las veces se utilizan los programas que están a la mano pero no nos preguntamos si este sirve para el trabajo que se desea realizar o que limitantes tiene en su empleo para el diseño estructural de pavimentos flexibles.

Con este estudio se estará obteniendo información que nos dará una ayuda a la hora de

elegir el programa y así podremos tener un estudio que nos guía a utilizar la mejor herramienta que en este caso son los programas de DARWIN Y DEPAV

1.2.- JUSTIFICACIÓN

Hoy en día la rápida evolución de las actividades económicas van generando un incremento considerable en el volumen de tráfico y paralelamente las cargas impartidas por los vehículos comerciales van en aumento, ésto se ve traducido en el requerimiento y la necesidad de contar con carreteras de alta calidad.

Por tal motivo los ingenieros viales deben enfrentar el reto de proporcionar una infraestructura vial confiable y eficaz con un presupuesto que en muchos de los casos es restringido ya que la misma incide mucho en la economía de un país.

También en la actualidad se cuenta con varios programas para el diseño estructural de pavimentos pero no se tienen una información de cómo es que estos trabajan o a qué situación se adecuan o si éstos se adecuan a las características de nuestro medio.

En otras ocasiones se tiene los programas para el diseño estructural de pavimentos pero no se cuenta con una información acerca de sus caracterizas y no podemos sacar lo mejor de cada uno de estos programas del DARWIN o DEPAV.

O en mucho de los casos no conocemos las ventajas y desventajas de diseñar el pavimento estructural flexible con estos tipos de softwares ya que no se cuenta con un estudio que nos ayude a decidir a la hora de elegir un método o un programa para el diseño estructural.

1.3.- OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general es estudiar los programas del DARWIN y EL DEPAV para el diseño estructural de pavimentos estableciendo un análisis comparativo entre estos dos programas que permita obtener información que nos ayude a poder saber cuál de estos programas es el más preciso y confiable y eficaz a la hora de elegir el programa para realizar el diseño estructural de pavimento flexible. Y con la comparación definir su área aplicación y ver cuál de estos programas son más compatibles para nuestro medio o para que tipo de trabajo es mejor cada uno de ellos.

1.3.2. OBJETIVO ESPESIFICO

- Analizar el funcionamiento de cada uno y ver las características y sus diferencias entre estos programas para obtener una conclusiones que nos ayuden a identificar cual es el mejor para nuestro medio.
- Obtener una información mediante un análisis estudio minucioso a los programas que ayude a los ingenieros viales a la hora de elegir un programa para el diseño estructural de pavimentos flexibles.
- Determinar las ventajas que ofrecen cada uno de estos programas por medio de un estudio e investigación acerca de estos programas.
- Mediante la comparación de estos dos software de diseño estructural se establecerá nuevos parámetros que orienten criterios de recomendación en el diseño de pavimentos flexibles.
- Elaborar una propuesta de uso donde se establezca el grado de aplicabilidad a nuestro medio de cada uno de estos programas de diseño estructural entre el DEPAV y el DARWIN.
- Se determinara el grado de complejidad que tienen estos programas de diseño estructural de pavimentos como son el DARWIN y el DEPAV a la hora de introducir los datos que son requeridos se realizará esto mediante un estudio de cada uno de ellos.

1.4.- ALCANCE

En el presente trabajo se realizara un análisis de dos programas que existen para hacer el diseño estructural de pavimentos (flexibles).

Se estudiarán los programas del DEPAV Y EL DARWIN para hacer el diseño estructural de pavimentos flexibles.

Se elaborará un análisis de los parámetros de diseño de cada programa estudiado en este caso el DEPAV y el DARWIN además del procedimiento a seguir para el diseño y la variables que se deben tomar en cuenta a la hora de manejar cualquiera de estos dos programas estudiados.

Mediante el estudio, recolección de información de ambos softwares se realizara un análisis comparativo de los dos programas EL DEPAV y EL DARWIN según los fundamentos en que se basan y los distintos parámetros que toman en cuenta para el diseño además de determinar cuál de estos programas se adecuan más a las características de nuestro medio.

Luego se hará una descripción amplia de estos programas primero se hará una descripción del DEVAP como ser sus características, fundamentales se verá la precisión rapidez facilidad de manejo y confiabilidad

Luego se hará una descripción amplia del programa DARWIN donde se describirá sus parámetros características en fin el mismo tipo de análisis que para el DEPAV.

Luego se elaborara una propuesta de uso donde se establezca el grado de aplicabilidad de cada uno de los programas estudiados que ayuden a los ingenieros viales a la hora de tomar una decisión de que programa utilizar para el diseño estructural de pavimentos Flexibles.

CAPITULO 2

2.-TOPICOS GENERALES DE LOS PAVIMENTOS

2.1.-GENERALIDADES

Hoy en día los programas de diseño estructural de pavimentos se ha llegado a constituir en un herramienta muy necesaria para y casi indispensable para la elaboración de pavimentos en el mundo y en nuestro medio no es la excepción ya que muchos de las diseños estructurales de las carreteras en nuestro medio se hicieron utilizando algunos de los programas como ser el DARWIN, EL DEPAV EL PCA, por eso esta investigación va dirigida a ello.

2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PROGRAMAS DE DISEÑO ESTRUCTURAL DARWIN Y DEPAV

El Darwin se clasifica como un programa empírico de la AASSTHO y el Depav como un programa analítico.

2.3 CONOCIMIENTO DE LOS FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO

El conocer los factores de dimensionamiento es muy importante ya que de ello depende si el dimensionamiento si es el adecuado y en lo futuro no se tenga que lamentar un acortamiento en la vida útil de las carreteras o accidentes en el trafico.

Para lo cual se deberá conocer bien los factores de dimensionamiento de cada uno de los programas que serán analizados y estudiados tanto el DEPAV como el DARWIN

DEPAV:

El DEPAV es un programa analítico que calcula los esfuerzos y deformaciones máximas que una rueda doble colocada en la superficie produce en los niveles de interface de un sistema elástico; multicapa constituido de 2 a 6 capas caracterizadas por el espesor, módulo.

Además calcula la deflexión y el radio de curvatura al centro de la rueda doble.

Los factores y parámetros de dimensionamiento que requiere este software para el diseño estructural de pavimento flexible son los siguientes:

- Numero de capas
- Modulo de elasticidad E (Kg. / cm^2)
- Relación de Poisson μ
- Espesor de capa H (cm.)

Cargas:

- Presión de contacto (Kg./ cm^2)
- Distancia entre llantas cm.

2.3.-CONOCIMIENTO DE LOS FACTORES DE DIMENSIONAMIENTO DE PAVIEMENTO FLEXIBLE

2.3.1 INTRODUCCION

PAVIMENTOS:

En los pavimentos es necesario conocer el tipo de pavimento con que se construirán las diferentes carreteras para saber el tipo de programa adecuado para el diseño estructural, porque hay ocasiones en que los softwares tan sólo funcionan con un tipo de pavimento o sea este puede ser flexible o rígido en este caso los software estudiados como el DARWIN Y EL DEPAV trabajan tan solo para el diseño de pavimento flexible.

Pavimento: Se llama pavimento al conjunto de capas de material seleccionado que reciben en forma directa las cargas del tránsito y las transmiten a los estratos inferiores en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, la cual debe funcionar eficientemente. Las condiciones necesarias para un adecuado funcionamiento son las siguientes: anchura, trazo horizontal y vertical, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, además de una adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas. Deberá presentar una resistencia adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, de la intemperie y del agua. Debe tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas. Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se

colocan en las terracerías, además de que son los materiales que más comúnmente se encuentran en la naturaleza, y por consecuencia resultan los más económicos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no sólo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

El pavimento, es el sistema de revestimiento que conforma el suelo transitable de cualquier espacio construido. Los pavimentos se apoyan sobre elementos estructurales sensiblemente horizontales, como los terrenos estabilizados, soleras, losas y forjados. Las principales funciones que desempeñan son el aislamiento y la ornamentación, pero al mismo tiempo deben resistir las abrasiones y los punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos y la compresión de los elementos que se apoyan. Además, muchos pavimentos tienen que ser inmunes a la acción de agentes químicos, como agua, aceites, sales o ácidos, a las agresiones de seres vivos e incluso a la propia luz solar.

Los diversos tipos de suelos se clasifican, atendiendo al método de construcción, en continuos y discontinuos. Los continuos, extendidos en grandes superficies, suelen fabricarse con piedras artificiales como morteros hidráulicos, hormigones o gravas asfaltadas. Entre los más comunes se encuentran los recubrimientos asfálticos de carreteras y autopistas o los pavimentos industriales de hormigón. Los revestimientos de suelos discontinuos o modulares, por el contrario, abarcan toda la gama conocida de materiales, desde la piedra natural y artificial hasta los diversos plásticos, pasando por maderas, telas, metales y otros conglomerados mixtos. Los entarimados, las moquetas, los adoquinados, los suelos de baldosas, los de chapas de acero o los de linóleo se incluyen entre estos pavimentos discontinuos.

2.3.2 TRAFICO

ESTUDIO DE TRÁFICO

Es importante conocer el tráfico para poder saber qué tipo de vehículos transitaran por las vías que serán construidas y con ello ver el diseño más adecuado de paquete estructural.

En un proyecto se requiere determinar el tráfico, primero para reconocer una necesidad y luego para comparar los beneficios que se tendrán con el mismo, con los costos que representan la implementación de la solución. Generalmente los beneficios de un proyecto principalmente vial, no se los recibe en el curso de una gestión, sino más bien después de varios años de explotación. Por esta razón entonces el estudio de tráfico no sólo requiere un valor de diseño, sino que adicionalmente debe ser capaz de proyectar, los resultados anualmente durante toda la vida útil del tramo vial con cuya construcción o mejoramiento se pretende subsanar la necesidad.

Para poder proyectar, es también necesario tener una información histórica y también estar en condiciones de utilizar todo trabajo vial o de encuestas socio-económicas realizadas para el proyecto.

TRÁFICO NORMAL

El tráfico normal se lo obtiene a través del cálculo del tráfico promedio diario, cuyos datos de cómputo provienen de las tablas de conteo de tráfico, durante un tiempo prudente de manera continua, según lo exija el tráfico de la región, a través de la utilización de los respectivos formularios de conteo de los vehículos.

Existen varias maneras para determinar la cantidad de vehículo que circulan por la carretera, los métodos más utilizados son los aforos o registros vehiculares y el de las encuestas de origen y destino, entre otros los registros satelitales.

TRÁFICO PROMEDIO DIARIO (T.P.D.)

El cálculo del T.P.D. se lo obtiene utilizando la siguiente relación:

$$T.P.D. = \frac{\Sigma(T.D.)}{N^{\circ} \text{ de días de Conteo}}$$

Donde el T.D. es el tráfico diario, obtenido por el conteo realizado en la zona de proyecto. Si el conteo no se lo realiza todos los días de la semana, las 24 horas del día, acuerdo a la región de proyecto es posible afectar a los conteos realizados por factores de expansión que compensan las horas o días en las cuales no se realizó el cómputo mencionado.

TRÁFICO PROMEDIO DIARIO ANUAL (T.P.D.A.)

Se define como el N° de vehículos durante las veinticuatro horas del día durante los trescientos sesenta y cinco días del año; puesto que es difícil hacer un control en todo el año es que se utilizan los factores de expansión antes mencionados.

PROYECCIÓN DEL TRÁFICO NORMAL

Una vez estimado el tráfico normal es necesario proyectar este tráfico hacia el año de diseño a partir de los datos que se disponen del año base.

Existen varios métodos de proyección, entre los que se puede señalar el aritmético, el geométrico o si se tiene un registro histórico del tráfico en la región se puede realizar una curva que disimule el crecimiento del tráfico posterior al año base.

TRÁFICO GENERADO

El tráfico generado es una estimación del N° de vehículos que circularán por la vía, por efecto de la actividad económica que se desarrolla en la zona; El cálculo de este tráfico generado es realizado basándose en la población económicamente activa de la región que se presume precisará de transporte y hará uso de la carretera.

NIVELES Y VOLÚMENES DE SERVICIO

En el manual de capacidad de Caminos define un concepto cualitativo, llamado nivel de servicio, que procura evaluar la calidad de circulación de una corriente de tránsito. Esa calidad de servicio refleja la incidencia de varios factores, entre los cuales se encuentran la velocidad y el tiempo de viaje, las interrupciones o restricciones al tránsito, la libertad de maniobra, la seguridad, la comodidad y conveniencia y los costos de operación.

De este modo, define seis niveles de servicio, desde A hasta F, del mejor al peor, que abarcan toda la gama posible de condiciones de operación del tránsito. Los niveles de servicio tienen las siguientes características:

- Tipo A: Volumen de tránsito bajos y velocidades altas, densidad baja. No hay restricciones a las maniobras ocasionadas por la presencia de otros vehículos.
- Tipo B: Velocidades de operación que comienzan a restringirse por las condiciones del tránsito.
- Tipo C: Las velocidades y posibilidades de maniobras están controladas por los altos volúmenes de tráfico.
- Tipo D: velocidades de operación aún satisfactorias, pero afectadas considerablemente por los cambios en las condiciones de operación.
- Tipo E: Volúmenes de tráfico correspondientes a la capacidad. Pueden ocurrir paradas de corta duración.
- Tipo F: Velocidades y volúmenes inferiores a la capacidad, pudiendo producirse paradas. En los casos extremos, tanto la velocidad como el volumen pueden descender a cero.

VEHÍCULO TIPO

Las características del vehículo que circulan por una carretera condicionan, como es natural, diversos aspectos del diseño geométrico como:

- El ancho de los vehículos, de vehículos pesados
- La distancia entre ejes y la longitud, de vehículos pesados
- La longitud total de los vehículos, de vehículos pesados
- La relación potencia – peso de los vehículos pesados
- La altura admisible
- Las velocidades máximas, de los vehículos livianos.

CATEGORÍAS DE DISEÑO

Las categorías de diseño recomendadas para el nuevo trazado de carreteras rurales, se encuentran resumidos en la siguiente tabla:

Categoría de la Carretera	Características	Criterio de Clasificación	Velocidades Directrices (en Km/h)
0	Doble calzada Dos o más carriles por dirección Control de acceso	TMDA > de 15000 Función de total prioridad: Movilidad	120 – 80
I.A	Doble calzada Dos o más carriles por dirección. Control parcial de acceso	TMDA > a 5000 Función más importante: Movilidad	120 – 70
I.B	Calzada simple Dos carriles	TMDA > a 1500	120 – 70
II	Calzada simple Dos carriles	TMDA > a 700	100 – 50
III	Calzada simple Dos Carriles	TMDA > a 300	80 – 40
IV	Calzada Simple Dos Carriles	TMDA > a 200	80 – 30

2.3.3.- SUB- RASANTE

TRAZADO DE RASANTES

La sub-rasante o rasante es el perfil de las terracerías del camino compuesto por las líneas rectas que son las pendientes unidas por arcos de curvas parabólicas verticales.

Según sea el sentido del cadenamiento, las pendientes ascendentes se marcan con signo positivo y las descendentes con signo negativo.

La sub-rasante que se proyecte debe proyectar, en todo lo que sea posible, los cortes con los terraplenes en el sentido longitudinal y aún en el transversal cuando se aloje en una ladera que permita la compensación lateral. Cuando la ladera es muy inclinada y no se detienen los terraplenes, en el perfil aparece la sub-rasante como una línea mal compensada, continuamente en desperdicio, pero justificado ya que el camino debe alojarse totalmente en firme.

Para proyectar la sub-rasante debe tenerse en cuenta las especificaciones de pendiente máxima y de longitud de curvas verticales, además de la conveniencia de no usar contra pendiente innecesarias, ni excesiva cantidad de quiebres que darían un alineamiento vertical defectuoso, inadecuado para el tránsito de vehículos el cual debe ser seguro y cómodo.

Una vez que se ha elegido una sub-rasante, deberán calcularse las curvas verticales y determinar los espesores.

CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LA SUB-RASANTE

La sub-rasante, se define como la parte de la corteza que va a servir de soporte a la estructura del pavimento; puede ser sub-rasante natural (en el caso de los cortes), o construirse en el sitio (artificial, para los terraplenes).

La sub-rasante debe diseñarse según el tipo de carretera que se está construyendo, la cual tendrá requerimientos, que la sub-rasante debe cumplir, para el diseño de la sub-rasante debe de hacerse una selección de ruta, por el método del compás respetando las pendientes máximas y mínimas.

Definiendo de esta forma las tangentes horizontales, que pueden ser ascendente o descendente.

CONTROL DE PENDIENTES

Se refiere al control que hay que tener de las pendientes las cuales no pueden tener pendientes superiores a la máxima establecida para el proyecto (7%), ni inferiores a la mínima (0.5%).

2.3.4- CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

Los materiales para la conformación del paquete estructural de pavimentos debe ser de buena calidad así se podrá garantizar un paquete estructural muy bien conformado

2.4.-ELEMENTOS DE TENSION

2.4.1.- TENSION

En general la tensión es el estado de un cuerpo sometido a la acción de fuerzas opuestas que lo atraen.

Fuerza de tracción a la que está sometido un cuerpo.

Prueba de tensión:

Se denomina prueba de tensión al ensayo que permite conocer las características de un material cuando se somete a esfuerzos de tracción. El objetivo es determinar la resistencia a la rotura y las principales propiedades mecánicas del material que es posible apreciar en el diagrama carga-deformación:

2.5.- LEY DE HOOKE

Es la ley que establece la relación de proporcionalidad directa entre las tensiones y las deformaciones cuando se trata de alargamientos pequeños.

En física, la ley de elasticidad de Hooke o ley de Hooke, originalmente formulada para casos de estiramiento longitudinal, establece que la deformación ϵ de un material elástico es directamente proporcional a la fuerza aplicada F :

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{F}{AE}$$

Donde ΔL : alargamiento longitudinal, L : Longitud original, E : módulo de Young o módulo de elasticidad, A sección transversal de la pieza estirada. La ley se aplica a materiales elásticos hasta un límite denominado límite de elasticidad.

Esta ley recibe su nombre de Robert Hooke, físico británico contemporáneo de Isaac Newton. Ante el temor de que alguien se apoderara de su descubrimiento, Hooke lo publicó en forma de un famoso anagrama, revelando su contenido un par de años más tarde. El anagrama significa *Ut tensio sic vis* ("como la extensión, así la fuerza").

2.6.-MODULO DE ELASTICIDAD

El módulo de elasticidad es importante conocerlo porque son un parámetro para que los softwares estudiados funcionen

El modulo de elasticidad está representado por (E) es una constante física del material que se obtiene experimentalmente se mide en la mismas unidades de la tensión kg./cm^2 ya que es adimensional.

También se dice que el modulo de elasticidad en la pendiente del diagrama de esfuerzos-deformación en la región linealmente elástica y su valor depende del material que se utilice.

2.6.1.- CAPAS GRANULARES

Se denomina capas granulares las que esta constituidas exclusivamente por áridos. Estos pueden proceder de yacimientos (graveras), ser extraídos en canteras o incluso puede tratarse de subproductos industriales. Dentro de esta definición genérica cabe distinguir dos tipos fundamentales de estructuras granulares:

- Las constituidas por partículas relativamente gruesas de tamaños sensiblemente parecidos (por ejemplo, entre 5 y 10 cm) y, por tanto con una granulometría uniforme. Los huecos que quedan entre ella pueden ser posteriormente rellenados en parte por unos áridos más finos o recebos, como el macadam.

- Estructuras formadas por áridos de tamaños diversos, de tal manera que los huecos dejados por los más gruesos, que constituyen un esqueleto mineral van siendo rellenados por las partículas más finas. Son estructuras con una granulometría continua, caracterizadas por altas capacidades en España reciben la denominación de zahorras.

Se emplean también en ocasiones unas estructuras con granulometría continua de las que han eliminado los tamaños más finos. Se consiguen así unas capas que tienen una gran cantidad de huecos que las dotan de una apreciable drenabilidad.

Cabria también hacer referencia a las estructuras formadas por un material de grano fino en cuyo seno estarían flotando otros elementos más gruesos sin constituir un verdadero esqueleto mineral. En este caso el comportamiento de la capa está marcado exclusivamente por la naturaleza de los finos y en general no resulta apta para resistir adecuadamente los esfuerzos de tráfico al producirse grandes deformaciones permanentes, sobre todo en presencia de humedad.

Macadán

Las capas de macadam están constituidas por unos áridos gruesos (de 50 a 100 mm) obtenidos por trituración. La granulometría de estos áridos es uniforme y para proceder al encaje de unas partículas con otras es necesaria una compactación muy enérgica. Los áridos forman un esqueleto cuyos huecos se rellenan por una parte de la capa tras una humectación mediante una área denominada recebo la operación final consiste en la captación del conjunto con cuidado para no desencajar los áridos gruesos. Salvo en algunas zonas que los contratistas han mantenido la tradición, el macadam se ha utilizado poco desde el último tercio del siglo XX. Existen diferentes inconvenientes, tanto de tipo técnico como económico que pueden explicar esta situación:

Para un correcto comportamiento de la capa hay que disponer de unos áridos duros que resistan los importantes esfuerzos de atrición (desgaste por contacto entre las partículas) a los que pueden verse sometidos.

La puesta en obra presenta una mecanización difícil, esto puede presentar sin embargo una ventaja en las regiones donde se quieran promover actualizaciones con un empleo intensivo de la mano de obra.

Al tratarse de una capa de granulometría discontinua (considerando conjuntamente el árido grueso y la arena de recebo) solo se aprovecha una fracción de lo producido en la trituración de los áridos.

La carga subyacente debe tener una resistencia para que los áridos no se hundan en ella debido a los esfuerzos puntuales transmitidos.

Para conseguir un alto rozamiento interno es necesario encajar bien las partículas lo que nos es fácil debido a la granulometría empleada. También presenta dificultades el control de la compactación.

LAS CAPAS GRANULARES DE GRANULOMETRIA CONTINUA

Para obviar algunos de los problemas que se presenta el macadam se desarrollaron las capas granulares de granulometría continua. En ellas el árido está constituido por partículas de todos los tamaños. Lo que hace posible obtener una compacidad elevada, aumentar los puntos de contactos de la partículas entre si y disminuir la atrición. Esto permite que teóricamente, emplear áridos rodados procedentes de la graveras, además, la puesta en obra en capas de espesor importante resulta fácilmente mecanizable con la disminución de coste que conlleva en ocasiones se emplean áridos.

En ocasiones se emplean áridos rodados extraídos de graveras, tal cual o con una pequeña reconstitución granulométrica con la eliminación de las partículas más gruesas o de parte de la más finas. Son las denominadas en España zahorras naturales que en espesores de 20-40 cm sirve para construir capas de sub-base, y en caso de carreteras con baja intensidad tráfico, también puede servir para capas de base.

Su uso ha declinado por el agotamiento de muchos yacimientos y por las exigencias ambientales. En todo caso estos materiales deben cumplir unas especificaciones granulométricas grafica.

Sin embargo si se quiere disponer de una capa con alta capacidad de soporte es preciso lograr un elevado rozamiento interno que es mejor que si las partículas son rodadas. Se recurre entonces a la las zahorras artificiales compuestas por áridos de cantera o de gravera sometidos a un proceso de trituración y que se utilizan en bases y sub-bases en espesores de 20-30 cm. A los materiales de este tipo se le exigen:

- Una elevada proporción de partículas con suficientes caras de fracturas conseguidas mediante una trituración.
- Unos usos granulométricos buscando la máxima compacidad
- Una dureza (evaluada por ejemplo, mediante los ensayo Los Ángeles) para evitar la ruptura de las aristas que originen un redondeo del árido con lo consiguiente la disminución del rozamiento interno y la producción de finos que alteren la granulometría del material.
- Unos finos no plásticos para evitar, entre otros inconvenientes, en presencia de agua los finos actúen como lubricantes de las partículas más gruesas este fenómeno se traduce en una disminución del rozamiento intergranular y en la aparición de importantes deformaciones permanentes

CARACTERISTICAS DE LOS ARIDOS

Tamaño

Para evitar la segregación durante la ejecución de las obras es recomendable, es recomendable que el tamaño máximo de los áridos en las capas granulares de granulometría continua no exceda de los 20-25 mm en las capas de base ni de los 25-40 mm ni de los 25-40 mm

Granulometría

Las curvas granulométricas de las denominadas zahorras se deben inscribir en unos usos sensiblemente continuos buscando las mayores compacidades que se puedan conseguir con los tamaños máximos seleccionados. Para las capas de base se utilizan unos usos más restringidos que para las capas de sub-base.

Angulosidad

La estabilidad de una capa granular, es decir, su resistencia a deformarse bajo el paso de las cargas, se basa fundamentalmente en su rozamiento interno. A él contribuye de manera decisiva la angulosidad de los áridos.

Forma

La forma de los áridos influye en su resistencia a la atrición, condicionando también su compactibilidad. Es por tanto la buena forma (esférica en los áridos rodados, aproximadamente cúbica en los áridos triturado) un exigencia básica para impedir la degradación de la capa granular durante el proceso de puestea en obra o durante la etapa de servicio.

Debido a la ausencia de ligantes o de conglomerantes, en la capas granulares las partículas del árido soportan unos importantes esfuerzos puntuales mayores que en una capa tratada. Por tanto para que la capa mantenga sus características iniciales es importante que los áridos tengan una apreciable resistencia mecánica. Mediante el ensayo de los ángeles se mide fundamentalmente la resistencia a la fragmentación, mientras que mediante el ensayo de friabilidad se mide sobre todo la resistencia a la atrición.

Heladicidad

En las regiones de clima frío resulta obligado comprobar que los áridos utilizados en las capas granulares no se alteran por la helada debiendo tenerse en cuenta esta circunstancia especialmente en materiales calizos.

Limpieza

Para que la estabilidad de las capa se mantenga en presencia de humedad, es preciso que los áridos empleados sean limpios, es decir que estén exentos de finos arcillosos. Esta evaluación se la puede hacer mediante la determinación del coeficiente de limpieza y del equivalente de la arena.

TERRENO DE FUNDACIÓN

Es aquella parte que sirve de sustentación al pavimento después de haber terminado el movimiento de tierras, una vez compactado con sus secciones transversales correspondientes además de las pendientes transversales especificadas según planos.

SUBRASANTE

La parte que corresponde al terreno de fundación.

SUB-BASE

La capa de material seleccionado que se coloca encima de la sub-rasante.

BASE

Capa de material pétreo que cumple una serie de especificaciones de calidad, en su caso de suelo - cal, suelo - cemento, etc., que se coloca encima de la sub-base

CARPETA DE RODADURA

Lo que se coloca encima de la base y está formada por una mezcla bituminosa en el caso de pavimentos flexibles.

CARPETA ASFALTICA

Lo que se coloca sobre la capa de rodadura está formada por una mezcla bituminosa encima de este riego a veces se espolvorea.

SUPERFICIE DE RASANTE

Lo que soporta el tráfico vehicular. Asiendo notar que de acuerdo a la calidad de terreno de fundación puede que no lleven todas las capas de pavimento.

FUNCION Y CARACTERISTICAS DE LAS DIFERENTES CAPAS

TERRENO DE FUNDACIÓN

El terreno de fundación puede tener las siguientes características:

PÉSIMO.-

Un terreno de fundación pésimo debe desecharse o en su caso debe realizarse un mejoramiento de las sub-rasante.

MALO.-

Se halla formado por limos, arcillas se debe colocar sub-base, base y capa de rodadura.

REGULAR A BUENO.-

Están formado por suelos bien graduados posiblemente no requerirá sub-base.

EXCELENTE

Tiene un valor soporte bien elevado no requiere de sub-base o en su caso solo capa de rodadura.

SUB-BASE

- a) Sirve de capa de drenaje al pavimento.
- b) Controla y elimina en lo posible los cambios de volumen elasticidad y plasticidad, que pudiera tener la sub-rasante.
- c) Controla la ascensión capilar proveniente de las aguas subterráneas.
- d) El material debe ser seleccionado (arena, grava u otro material adecuado). Debe ser una suelo A1 o A2
 $LL < 35$ y $IP < 6$, $CBR > 15$.

BASE

- a) Ser resistentes a los cambios de humedad y temperatura.
- b) No presentar cambios de temperatura.
- c) El % de desgaste del ensayo de los ángeles.
- d) $LL < 25$, $IP < 6$, $CBR > 5$.
- e) Cumplir todas las especificaciones para material de base.

2.6.2 MEZCLAS BITUMINOSAS

Las mezcla bituminosas (o asfálticas) que también reciben usualmente la denominación de aglomerados, están formados por un combinación de áridos y un ligante hidrocarbonado de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua de este. Se fabrican de forma mecánica en unas centrales fijas o móviles, se trasportan luego a la obra y allí se extienden y se compactan. Actualmente se emplean no solo en pavimentos de carreteras y calles sino también en otro tipo de de infraestructuras con tráfico: aeropuertos, superficies industriales, pistas deportivas. Emplean también a menudo en las capas inferiores de los firmes para tráfico pesados intensos.

Para fabricar las mezclas bituminosas los áridos se clasifican en unas fracciones uniformes a partir de las cuales se compone la granulometría elegida, se suele considerar por separado el polvo mineral. Los ligantes intervienen en la mezclas en proporciones diferentes según el tipo de la formulación: entre 3 y el 10 por 100 sobre la masa de los áridos (en volumen la proporción se sitúa entre el 8 y el 25 por 100, aproximadamente). En principio cualquier ligante hidrocarbonado podría emplearse para la fabricación de las mezclas bituminosas, pero las más usuales son los betunes asfálticos de penetración intermedia (40/50 y 60/70) y las emulsiones bituminosas de ruptura media y lenta; cada vez más se emplean también los ligantes modificados con polímeros.

La regularidad superficial y la comodidad consiguiente que puede proporcionar los pavimentos de mezcla bituminosa con un cierto espesor constituyen una de sus grandes ventajas. En cuanto a la seguridad, si se utilizan unos tamaños máximos del árido suficientemente elevados y unos áridos gruesos no pulimentables, la resistencia a los deslizamientos que alcanzan son similares a las que pueden conseguir con los pavimentos de hormigón. Una de la ventajas de la mezcla estriba en la posibilidad de su extensión en espesores diversos (desde tan solo 1 o 2 cm hasta 15 cm o más en una sola capa), pudiendo tener unas rigideces también muy diferentes (desde unos 1000 Mpa hasta 10000 mpa a la temperatura ambiente), lo que permite su adaptación a una gran diversidad de situaciones

En las capas de rodadura las mezclas bituminosas presentan el inconveniente de una durabilidad sensiblemente inferior a la vida útil del firme. Ello es debido al envejecimiento

del ligante, pero en ocasiones también a una inadecuada formulación de la mezcla. Así mismo como consecuencia de la naturaleza de ligante, la rigidez de una mezcla bituminosa varía apreciablemente con la temperatura, lo que también es un inconveniente.

También bajo este nombre genérico se incluye una multitud de tipos de mezclas, que de acuerdo a su utilización podemos dividirlos en:

a) PARA TRATAMIENTO SUPERFICIALES:

Pueden ser simples o múltiples varía desde 6,4 mm a 3-4 cm

b) CONCRETOS ASFALTICOS:

Que varia desde 2" a 4" de espesor, a veces comparado con carpetas de cemento y su costo es muy elevado.

c) CARPETAS DE DESGASTE O SELLO:

Formada por una aplicación bituminosa que tiene por objeto sellar impermeabilizando a fin de evitar la infiltración del agua, esta puede llevar o no material secante

En primer lugar, por analogía con los otros materiales, las mezclas bituminosas pueden clasificarse según las fracciones de árido empleadas:

- Masilla bituminosa: polvo mineral mas ligante.
- Mortero bituminoso: árido fino mas masilla
- Hormigón bituminoso: árido grueso mas mortero
- Macadam bituminoso: árido grueso mas ligante

CAPITULO 3

DISEÑO ESTRUCTURAL DE CARRETERAS

3.1.-PAVIMENTOS

3.1.1.-GENERALIDADES

Se conoce como pavimento a las capas de material que en su conjunto reciben en forma directa las cargas del tránsito y otras y las transmiten a los estratos inferiores donde está fundada la carretera en forma disipada, proporcionando una superficie de rodamiento, esta debe funcionar eficientemente.

Las condiciones que son necesarias para que un pavimento tenga un adecuado funcionamiento deben ser las siguientes: trazo horizontal y vertical, anchura, resistencia adecuada a las cargas para evitar las fallas y los agrietamientos, fisuras, baches, también debe tener adherencia adecuada entre el vehículo y el pavimento aún en condiciones húmedas. El pavimento deberá presentar una resistencia que sea adecuada a los esfuerzos destructivos del tránsito, del agua, de la intemperie y de los agentes atmosféricos. Se tiene que tomar en cuenta que la carretera deberá tener una adecuada visibilidad y contar con un paisaje agradable para no provocar fatigas. Puesto que los esfuerzos en un pavimento decrecen con la profundidad, se deberán colocar los materiales de, mayor capacidad de carga en las capas superiores, siendo de menor calidad los que se colocan en las terracerías.

Los pavimentos pueden ser flexibles o rígidos.

La división en capas que se hace en un pavimento obedece a un factor económico, ya que cuando determinamos el espesor de una capa el objetivo es darle el grosor mínimo que reduzca los esfuerzos sobre la capa inmediata inferior. La resistencia de las diferentes capas no solo dependerá del material que la constituye, también resulta de gran influencia el procedimiento constructivo; siendo dos factores importantes la compactación y la humedad, ya que cuando un material no se acomoda adecuadamente, éste se consolida por efecto de las cargas y es cuando se producen deformaciones permanentes.

Se conoce como pavimento, al sistema de revestimiento que conforma el suelo transitable de cualquier espacio construido. Los pavimentos se apoyan sobre elementos estructurales sensiblemente horizontales, como los terrenos estabilizados, soleras, losas y forjados. Las principales funciones que desempeñan son el aislamiento y la ornamentación, pero al mismo tiempo deben resistir las abrasiones y los punzonamientos (esfuerzos cortantes) producidos por el paso de personas o vehículos, la caída de objetos y la compresión de los elementos que se apoyan. Además, muchos pavimentos tienen que ser inmunes a la acción de agentes químicos, como agua, aceites, sales o ácidos, a las agresiones de seres vivos e incluso a la propia luz solar.

3.1.2.- COMPONENTES DE UN PAVIMENTOS

3.1.2.1.- BASE

Esta capa tiene por finalidad absorber los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos y además repartir uniformemente los esfuerzos a la sub-base y terreno de fundación

Las bases pueden ser granulares o estar bien formadas por bituminosas o mezclas estabilizadas con cemento u otro material ligante.

- 1) El material pétreo que se emplee en la base deberá cumplir con los siguientes requisitos:
 - a) Ser resistente a los cambios de temperatura y humedad.
 - b) No presentar cambios de volumen que sean perjudiciales.
 - c) El porcentaje de desgaste según el ensayo de Los Ángeles debe ser inferior a 50.
 - d) La fracción de material que pase el tamiz No 40 ha de tener un límite líquido menor al 25% y un índice de plasticidad menor a 6 .

2)

e) La fracción que pase el tamiz No 200 no podrá exceder de la $\frac{1}{2}$. En ningún caso de los $\frac{2}{3}$ de la fracción que pase el tamiz No 40.

f) La graduación del material de la base es necesario que se halle dentro de los límites indicados en la figura.

g) El CBR no debe ser inferior a 50 %.

Se conoce como capa Base a la capa de material pétreo que cumple una serie de especificaciones de calidad, en su caso de suelo - cal, suelo - cemento, etc, que se coloca encima de la sub-base.

Características que debe tener la capa base entre las cuales se señalan las siguientes.

1. Ser resistentes a los cambios de humedad y temperatura.
2. No presentar cambios de temperatura.
3. El % de desgaste del ensayo de los ángeles.
4. $LL < 25$, $IP < 6$, $CBR > 5$.
5. Cumplir todas las especificaciones para material de base.

3.1.2.2.- SUB-BASE

Sub-base.-

Es la capa de material seleccionado que se coloca encima de la sub-rasante

Tiene por objeto.

- a) Servir de capa de drenaje al pavimento.
- b) Controlar o eliminar en lo posible cambios de volumen, elasticidad y plasticidad perjudiciales que pudiera tener el material de la sub-rasante.
- c) Controlar la ascensión capilar del agua provenientes de las capas friáticas cercanas protegiendo así al pavimento contra los hinchamientos que se producen en épocas de helada .Este hinchamiento es causado por el congelamiento del agua capilar, fenómeno que se observa especialmente en los suelos limosos donde la ascensión capilar del agua es considerable.

- d) Controla y elimina en lo posible los cambios de volumen elasticidad y plasticidad, que pudiera tener la sub-rasante.
- .
- e) El material debe ser seleccionado (arena, grava u otro material adecuado). Debe ser una suelo A1 o A2
- f) $LL < 35$ y $IP < 6$, $CBR > 15$.

El material de la sub-base debe ser seleccionada y tener mayor capacidad que el terreno de fundación compactado, este material puede ser grava, arena, grava o granzón, escoria de los altos hornos y residuos de material de cantera .En algunos casos es posible emplear para la sub-base material de la sub-rasante mezclado con granzón, cemento, etcétera.

El material ha de tener las características de un suelo A1 o A2 aproximadamente. Su límite líquido debe ser inferior al 35% y su índice plástico no mayor a 6 .El CBR no podrá bajar de 15%.

Si la función principal de la sub-base es de servir de capa de drenaje, el material a emplearse debe ser granular y la cantidad de material fino que pasa el tamiz No 200 no deberá ser mayor al 8%.

En la actualidad como elemento drenante en la sub-base se está utilizando con mucha frecuencia geotextiles. El geotextil se define como cualquier textil permeable usado en fundaciones, roca o suelo. Sus propiedades hidráulicas son considerables, convenientes para las funciones de filtración y drenaje.

3.1.2.3.-CAPA DE RODADURA

Capa de rodamiento

Su función primordial será la de proteger la base impermeabilizando la superficie para evitar así posibles infiltraciones de agua de lluvia que podrían saturar parcial o totalmente las capa inferiores, además evita que se desgaste o desintegre la base a causa del tránsito de los vehículos.

Asimismo la capa de rodamiento contribuye en cierto modo a aumentar la capacidad de soporte del pavimento, especialmente si su espesor es apreciable (mayor a 3”).

La capa rodadura es lo que se coloca encima de la base y está formada por una mezcla bituminosa en el caso de pavimentos flexibles.

Su función primordial es proteger a la sub-base y base impermeabilizando la superficie. Además evita que se desintegre o desgaste a causa del intenso tráfico vehicular.

Así mismo la capa de rodadura contribuye el cierto modo a aumentar la capacidad soporte de un pavimento especialmente si su espesura es considerable.

3.2.- DISEÑOS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

3.2.1 INTRODUCCION

Diseño directo del pavimento

El procedimiento de diseño consiste en escoger una adecuada combinación de espesores de capas y características de materiales (E , μ , h) para que los esfuerzos y deformaciones (σ_z , ϵ_z y ϵ_t) causados por las solicitaciones a que se somete la estructura, permanezcan dentro de los límites admisibles durante la vida útil de la estructura que están constituyendo. En términos generales, con las leyes de fatiga de los materiales se puede encontrar las deformaciones, esfuerzos y deflexiones admisibles de los materiales y con la teoría de esfuerzo y deformación en una masa de suelo se encuentran las deformaciones, esfuerzos y deflexiones actuantes en la estructura de pavimento.

Teniendo en cuenta la gran capacidad de las herramientas computacionales actuales y con una adecuada caracterización de los materiales, se pueden programar las ecuaciones diferenciales para calcular los esfuerzos, deformaciones y deflexiones a las que está sometido el pavimento y la sub-rasante por acción de las cargas impuestas por el tránsito; en nuestro medio se tiene fácil acceso a programas como el DEPAV del paquete INPACO del Instituto de Vías de la Universidad del Cauca, también existen otros programas como, DARQWIN (de la AASHTO) PCIA EVERSTRESS, FLAC3D 2.00 (Modelo elástico no lineal), etc., que realiza estos cálculos; obtenidos los esfuerzos, deformaciones y deflexiones pueden ser comparados con los límites admisibles obtenidos por medio de las leyes de la fatiga de los materiales. Con los valores de los módulos y espesores de las capas y empleando programas de computador que determinan las tensiones, deformaciones y desplazamientos se comprueba si la estructura del pavimento está bien dimensionada con las suposiciones hechas inicialmente, esto se denomina **cálculo directo**; la solución a la que se llega de esta manera es única. Cuando hay que estimar la capacidad estructural de un pavimento en servicio que está llegando al final de su período de diseño se recurre a medir el desplazamiento vertical del pavimento (deflexión) bajo una carga estándar predeterminada; esta estimación se hace conociendo los espesores y las deflexiones en uno o en varios puntos donde se aplica dicha carga; con estas deflexiones y espesores se pueden determinar los valores de los módulos de los materiales que están constituyendo el pavimento; esto se conoce con el nombre de **cálculo inverso** en el que la solución no es exacta ni única y se requieren de varias reiteraciones y del criterio de ingeniero para ajustar la solución definitiva; para el cálculo inverso también existen programas de computador como el EVERCAL 5.0, MODULUS 5.1, que hacen las iteraciones necesarias automáticamente y no manual mente como se ha hecho hasta la actualidad en nuestro medio. En el siguiente esquema se muestra el proceso del cálculo directo e inverso.

3.2.2.-CONCEPCION GLOBAL DE PROCESO DE DIMENSIONAMIENTO.

Programa general del estudio de dimensionamiento

Comprender las funciones de los diferentes tipos de pavimentos, las bases y procedimientos para el diseño y construcción de los mismos; así como los criterios para la selección de materiales.

Consultar la "evolución y desarrollo de los caminos"

Pavimento.- Estructura formada por una o más capas de material pétreo tratado, cuya función es la de proporcionar al usuario un tránsito cómodo, seguro y rápido, al costo más bajo posible.

Para pavimentos flexibles:

1.- Flexibles.- Tienen carpetas asfálticas.

Comportamiento flexible.

Pavimento flexible:

Carpeta asfáltica.

B a s e

s u b-b a s e (en ocasiones se elimina)

capa sub-rasante.

Capa subyacente (hay veces no está)

cuerpo de terraplén

Función de un pavimento:

Proporciona al usuario un tránsito cómodo, seguro, rápido y menor costo.

Para que esto se cumpla el ingeniero civil debe:

- Diseñar.
- Construir.
- Conservar.

Ventajas y desventajas:

Características	Flexible	Rígido
Costo inicial	Menos	Mas
Mantenimiento	Mas, mas	Menos
Cómodo	Mas	Menos
Rugosidad	Mas	Mas
Duración	Menos	Mas
Distrib. De cargas	Áreas pequeñas	Áreas grandes.

Factores que influyen en el diseño.

Factores:

Regionales.- Observar el lugar (adaptación).

- Topografía.
- Geología.
- Clima.
- Vegetación.

Estudio geotécnico:

Clasificación:

- PC material (a, b, c) para fines de pago.
- Calidad de los materiales(clasificación, equipo)
- Bancos de materiales.
- Mecánica de suelos.
- Fallas de tipo geológico.

Transito:

- 1.- Cantidad de vehículos. TDPA (transito diario promedio anual).
- 2.- Clasificación vehicular.

3.- Cargas permitidas.

4.- Tasa de crecimiento (r). Anual de interés compuesto.

5.- Periodo de diseño (n). Tiempo que transcurre para que se produzca la fatiga (deformación).

* Flexible 5 a 20 años.

Características geológicas y climáticas:

Características geológicas y climáticas de la zona donde se hará la carretera.

Características:

Cantidad.- Caminos existentes aforos (conteo).

Libro de datos viales

Caminos nuevos: estimar.

Estudios socio económicos.

También se puede adquirir información de "inferencia" o sea de caminos existentes.

Clasificación vehicular:

T i p o	% ejemplos
A = l i g e r o s	80
B = autobuses pasajeros	15
C = c a r g a	5

Tasa de crecimiento anual (r).

Interés compuesto (lo que aumenta, aumenta).

Periodo de diseño (n).

Tiempo en el cual el pavimento llega a la falla funcional por fatiga.

Ejercer carga varias veces al pavimento.

Deformación permanente

$\Delta = 2.5 \text{ cm.}$

Clasificación para fines de diseño:

Tipos de ejes y carga máxima.

Fines de diseño.

Ejes equivalentes:

Índice de resistencia de los suelos:

La resistencia depende de:

- 1.- El contenido de humedad (humedad optima).
- 2.- Vacíos.

Relación esfuerzo deformación:

Modulo elástico: $e = \sigma / \delta$ ley Hooke.

El índice de resistencia se obtiene mediante pruebas de laboratorio.

Criterios Para el Dimensionamiento

El proyecto de un pavimento se plantea de manera análoga al de otras estructuras, cuyo objetivo es definir las características y las propiedades de los distintos elementos estructurales (las capas de la estructura del firme) así como los procedimientos constructivos para poder garantizar que la estructura va a prestar adecuadamente el servicio para el que se proyecta y construye durante un determinado periodo de proyecto o vida útil. Además como en otras estructuras hay que considerar en ese proceso como es el cimiento y cuáles son las acciones actuantes (las cargas procedentes de los vehículos y las acciones climáticas).

El proyecto de un diseño estructural de un pavimento debe basarse en criterios tanto técnicos como económicos.

Los primeros se refieren a las características estructurales, a las características de funcionales o superficiales, al proceso constructivo y a la valoración de la evolución del firme tras su entrada en servicio los aspectos económicos deben incluir no solo los costes de construcción sino también los de conservación.

El dimensionamiento se puede llevar a través de métodos analíticos que se basan directamente en el cálculo o bien mediante métodos empíricos, basados fundamentalmente

en la experiencia acumulada en un determinado ámbito sobre el comportamiento de los firmes.

En la actualidad los métodos empíricos y analíticos tiende a converger; mientras que los primeros requieren de la experiencia para una adecuada modelación y para la interpretación de los resultados del cálculo, los segundos se apoyan a menudo en la realización del cálculo como contraste de la experiencia, por otro lado debe apuntarse que el proceso actual en los métodos de dimensionamiento está ligado más a la gestión de los firmes.

Método analítico:

el dimensionamiento analítico de los firmes se basa en el cálculo de las tensiones, las deformaciones y los desplazamientos producidos por la acción de las cargas del tráfico y las variables climáticas y es su anterior con los valores admisibles en cada caso, en consecuencia un método analítico consta de dos partes: un modelo de respuesta, con el que determina tensiones, deformaciones y desplazamientos, y un **modelo de comportamiento** con el que se valoran las condiciones en las que se produce el agotamiento estructural del firme.

Las cargas aplicadas sobre el firme durante su vida útil son múltiples y muy variadas. El conjunto de todos sus valores con sus correspondientes frecuencias de aplicación constituyen un espectro de cargas. Para no tener que trabajar con todo el espectro, que no suele ser fácil de predecir se suele recurrir a establecer su equivalencia con una carga tipo (suele emplearse como tal la carga máxima legal de un eje simple) a partir de datos tomados en diversas secciones de control en la red viaria.

Método empírico:

Los métodos empíricos proporcionan para distintas combinaciones de los factores básicos de dimensionamiento, soluciones que se han obtenido por acumulación de experiencia sobre el comportamiento de los firmes en tramos de carreteras con tráfico real en tramos experimentales con tráfico especial o en pistas de ensayo.

Todos los métodos empíricos aun pudiendo ser muy diferentes entre sí, tienen en común la sistemática siguiente:

- 1) Adopción de un periodo de proyecto, o tiempo que teóricamente ha de transcurrir antes de que el firme llegue a un grado de deterioro que haga imprescindible su rehabilitación estructural. es habitual considerar treinta años para los pavimentos de hormigón y veinte años para los de pavimentos bituminosos
- 2) Determinación de los factores básicos de dimensionamiento:

Valoración del trafico de proyecto: número de vehículos pesados en un día medio, ejes equivalentes de la carga tipo acumulados durante el periodo de proyecto o durante un día medio, etc. Se suele utilizar los mismos principios de equivalencia ya indicados por los métodos analíticos.

Caracterización de la capacidad de soporte de la explanada: índices CBR modulo de compresibilidad etc.

Definición de unos materiales normalizados para las distintas capas del firme. Se puede hacer por referencia a unas determinadas especificaciones en el método AASHTO americano se emplea los denominados coeficientes de capas, la capacidad resistente del material se representa mediante un numero que permite establecer equivalencia entre materiales distintos. (Validas solo bajo determinadas condiciones).
- 3) Presentación de la solución o soluciones para cada combinación de los factores básicos en una forma propia de cada método; de esa presentación puede inferir que en ocasiones los métodos tienen más bien tienen un carácter semi-empírico es decir aun basándose en la experiencia se han desarrollado con un fuerte apoyo del cálculo

3.3 SOFTWARE DE DISEÑO

3.3.1.- GENERALIDADES

Teniendo en cuenta el auge que se ha dado en los últimos años en la construcción y diseño de pavimentos rígidos en vías urbanas y de la red vial nacional, y también considerando la amplia utilización a nivel nacional del método de diseño de pavimentos flexibles.

Por estas razones se toma en cuenta la utilización de los siguientes programas de diseño estructural estos programa llamado DARWIN y DEPAV requieren la introducción de los diferentes parámetros y efectuando los análisis de fatiga y erosión permite obtener el dimensionamiento de la estructura de pavimento. Una vez realizado el dimensionamiento permite realizar un análisis de sensibilidad para evaluar la incidencia de la variación de los respectivos parámetros en el análisis de los dos criterios de diseño fatiga y erosión es contemplados por el método.

Esta herramienta se considera de gran utilidad para los ingenieros de pavimentos debido a que facilita la actividad de diseño y permite fácilmente evaluar los cambios que se pueden presentar dentro del proceso constructivo cuando alguna de las variables difiera de las consideraciones inicialmente planteadas en el diseño.

3.3.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

PARAMETROS DE DISEÑO

DISEÑO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Interviene varios factores para el diseño de un pavimento flexible, y son los siguientes:

- 1.- Resistencia de la sub-rasante (terreno de fundación).
- 2.- Resistencia de cada una de las capas de pavimento (sub-base, base, capa de rodadura).
- 3.- Carga aplicada, carga por eje o carga por rueda.
- 4.- Numero de aplicaciones de carga (volumen de tráfico).

5.- Condiciones climáticas de la región. (Factor regional).

Transito: La variable se cuantifica estableciendo el espectro de cargas y el número de repeticiones de cada rango de cargas que se espera en el carril de diseño durante el periodo de diseño. Se plantea también un factor de seguridad de cargas para amplificar la magnitud de la carga representativa de cada rango.

Periodo De Diseño (T): Normalmente estas estructuras se diseñan para periodos mayores de 20 años. Este parámetro se considera en la estimación de la variable tránsito.

Resistencia carpeta asfáltica: Con respecto a la resistencia del capar de rodadura del pavimento flexible se evalúa mediante el módulo de reacción (M_r), el cual se recomienda que esté en un rango entre 40 y 50 Kg/cm^2

ESPESOR TOTAL DEL PAVIMENTO

El espesor combinado de base mas capa de rodadura puede ser distribuido en varias formas por lo general se selecciona previamente el espesor y el tipo de mezcla a emplearse en la capa de rodadura.

El espesor de la base granular en ningún caso debe ser menor a 10 cm.

El espesor de la capa de rodadura en todo caso debe ser menor que el espesor de la base. Este espesor está condicionado al tipo de mezcla asfáltica por ejemplo el tratamiento superficial raras veces sobrepasa el espesor de 1", mezclas en frio o caliente hechas en plantas o sitio generalmente tienen un espesor de 2" a 4".

Capítulo 4:

4.1 FUNDAMENTOS USADOS PARA CADA PROGRAMA

4.1.2 RESEÑA DEL PROGRAMA DARWIN

En términos simples, Darwin (Diseño, Análisis y Rehabilitación para Windows) es un lanzamiento computarizado de los modelos de diseño de pavimento presentados en la Guía para el Diseño de Estructuras de pavimento AASHTO (Referido en este documento como la Guía de Diseño AASHTO). Sin embargo, Darwin es mucho más que una presentación en línea de la metodología de diseño contenida en la Guía de Diseño AASHTO. Adicionalmente a proveer una forma precisa y completa para desarrollar diseños de pavimentos.

Darwin desarrolla un amplio rango de análisis y cálculos no disponibles en otros programas de diseño de pavimentos. Darwin es también rápido, fácil de usar y puede perfeccionar muchas tareas repetitivas dentro de su organización. Con sus numerosas características ajustables, Darwin le ayudará a simplificar el proceso de diseño de pavimentos y resultará en diseños mejorados.

Puesto que opera en ambiente Windows 95/NT. Darwin trabaja en la forma en que usted lo desee. Diseños múltiples pueden ser realizados o vistos al mismo tiempo y comparados. Usted también puede usar otros programas, como ser hojas de cálculo y procesadores de palabras mientras trabaja con Darwin. De hecho, cualquier Software compatible con Windows puede ser usado junto con Darwin. Proyecto Darwin lo ayuda a mantenerse organizado al incorporar sus diseños de pavimentos y documentos de apoyo de otros programas de Windows dentro de un solo archivo Darwin.

Desde su creación en 1991, Darwin ha evolucionado para mantener el paso con los cambios en la metodología de diseño de AASHTO y el estado del arte en la tecnología de computadoras personales. Darwin se ha desarrollado como una herramienta usada por más de 40 Departamentos Estatales de Carreteras, así como muchas agencias, consultoras de ingeniería e instituciones de enseñanza en el mundo.

Darwin 3.0 es lo último de las series Darwin e incorpora varios avances significativos en programación y capacidades relacionadas. En cierta forma, prácticamente todo en

Darwin 3.0 es nuevo. Desde el punto de vista del programa hasta sus características y capacidades, casi todas las características del programa han cambiado. Al mismo tiempo, para aquellos que están familiarizados con versiones anteriores de Darwin, la mayor parte del programa es la misma, después de todo, no existen nuevos cambios en los procedimientos del diseño de pavimentos en sí mismos.

En esta sección, se describen los cambios mayores que afectan el uso de Darwin.

DARWIN

4.1.3.- CARACTERISTICAS GENERALES DE DARWIN

Introducción

Existen muchas características de Darwin que no son específicas al uso de un análisis o diseño particular. Estas incluyen archivos o acciones de proyectos como guardados e impresión, y la función de ciertas características de programa como teclas de función y botones de pantalla.

Menús de Darwin

Los menús de Darwin son sensibles al contexto, Tanto los menús disponibles y su contenido cambia en base a los proyectos y módulos que se encuentren activos. En este parte, se discuten las características de los menús que no son específicas a un módulo, las descripciones completas de los títulos cambiantes del menú se encuentran en sus respectivos capítulos.

Menú de Archivo (File)

Los menús de archivo cambian dependiendo de las partes del programa que se encuentren activas. Cuando se abre Darwin y antes de que la apertura o creación de un proyecto, los encabezamientos del menú de archivo (File) son: New, Open, Print Setup, Preferences (Nuevo, Abrir, Preparar Impresora, Preferencias), una lista de proyectos recientemente usados, y Exit (Salir). Una vez que el proyecto se ha abierto, pero antes de que se abran los módulos, la lista disponible se expande para incluir Close, Save, Save As, y Summary Information (Cerrar, Guardar, Guardar como y Sumario de Información). Como se puede

ver, el contenido del menú cambia para reflejar las acciones de archivo que tienen importancia para lo que está actualmente activo en el programa. La función de cada uno de ellos se describe a lo largo de este capítulo así como en los subsiguientes cuando sea apropiado.

Menú de Edición (Edit)

Las Características del menú de presión Edit son las mismas que se encuentran típicamente en otras aplicaciones Windows. Estas incluyen Open, Rename, Cut, Copy, Paste y Delete (Abrir, renombrar, Cortar, Copiar, Pasar y Borrar) Mayor información acerca de estas características estándar puede encontrarse en la ayuda de Windows.

Menú Ver (View)

Desde un proyecto Darwin el menú View controla la apariencia de la ventana del proyecto. Las dos opciones de pantalla disponibles son: Toolbar (Barra de Herramientas) que es la fila de iconos ubicados directamente debajo del menú en la parte superior de la ventana (por defecto, a pesar de que puede colocarse en cualquier otro lugar), y Status Bar (Barra de Estado) Está ubicada en la parte inferior de la pantalla. La puesta en pantalla de estas opciones, indicada por una marca, se puede prender o apagar presionando la selección.

Toolbar (Barra de Herramientas)

La barra de Herramientas que se encuentra directamente debajo del menú, provee atajos para varios de los Ítems del menú más comúnmente usados, presionar en el botón de la barra de herramientas tiene el mismo efecto que realizar la selección desde la barra del menú. A pesar de que la barra de herramientas es muy útil también consume un espacio en pantalla que puede ser preferible. La siguiente tabla muestra los botones de la barra de herramientas y sus equivalentes funciones de menú.

Botón de la Barra Herramientas Función del Menú Equivalente

- File, New (Archivo, Nuevo)
- File, Open (Archivo, Abrir)
- File, Save (Archivo Guardar)
- Cut (Cortar)

- Copy (Copiar)
- Paste (Pasar)
- Insert Module (Insertar Módulo)
- Print Selection (Imprimir Selección)
- Print (Imprimir)
- Print Preview (Impresión preliminar)
- English (Inglés)
- Métric (Métrico)
- Library (Biblioteca)
- Cross Section (Sección transversal)
- About DARWin (Acerca de DARWin)
- Help (Ayuda)

La forma más fácil para encontrar la función de un botón de la barra de herramientas es usar las “Ayudas”, para hacerlo, simplemente descanse el apuntador en un botón de la barra de herramientas por unos segundos. Un pequeño cuadro que indica la función del botón aparecerá cerca del apuntador.

Status Bar (Barra de Estado)

La barra de estado, ubicada en la parte inferior de la pantalla de Darwin provee información útil acerca de la función de los menús y los botones de la barra de herramientas. La barra de estado muestra el sistema de unidades en que el proyecto ha sido creado. También muestra el estado de las teclas de BLOQ. MAYUSCULAS y BLOQ. NUMEROS. Seleccionando este ítem, enciende o apaga la barra de estado y generalmente se la mantiene a menos que el escasee el espacio de visión.

Menú Insert (Insertar)

El menú Insert está activo solamente cuando el Proyecto Darwin es la ventana activa. Desde este menú, los módulos Darwin y otros archivos pueden ser insertados en un archivo de proyecto. Las funciones asociadas con este menú se describen posteriormente en este capítulo.

Menú Calculate (Calcular)

El menú Calculate controla características asociadas a cada módulo de diseño y análisis y solo funciona cuando uno de los módulos está activo. Su uso específico para cada módulo se describe en capítulos posteriores.

Menú Design (Diseño)

El menú Design controla características relacionadas a cada módulo de diseño y análisis y sólo funciona cuando uno de los módulos está activo. Su uso específico para cada módulo se describe en capítulos posteriores.

Menú Options (Opciones)

El menú Options controla características relacionadas con cada módulo de diseño y análisis y sólo funciona cuando uno de los módulos está activo. Su uso específico para cada módulo se describe en capítulos posteriores.

Menú Windows (Ventana)

El menú Windows contiene diferentes funciones que le permiten trabajar con las ventanas (carpetas de proyectos) que se hayan llamado en un Proyecto DARWIN. DARWIN le permite tener diferentes proyectos y diseños en pantalla al mismo tiempo, cada uno contenido en una ventana separada. Las funciones en el menú de ventana le permiten organizar sus proyectos y diseños en la pantalla.

Cascade (Cascada)

Seleccionar Cascade organiza todas las ventanas (o proyectos) en un Proyecto DARWin acomodando su tamaño y apilándolas una encima de otra en una forma de cascada. La ventana que se encontraba activa cuando fue seleccionada será completamente visible en la parte superior de la pila. Las barras de título en las otras carpetas (si lo permite el espacio) serán visibles debajo de la carpeta superior.

Tile (Baldosas)

Seleccionar Tile también organiza todas las ventanas en Proyecto DARWIN, sin embargo las ventanas se modifican en su tamaño y colocadas como baldosas de manera que sean visibles en la pantalla si es posible. La opción Horizontal Tile organiza los proyectos uno

encima del otro (en todo su ancho verticalmente), y la opción Vertical Tile organiza los proyectos lado a lado (altura completa).

Arrange Icons (Organizar Iconos)

Si Ud. ha minimizado cualquier ventana, seleccionando Arrange Icons organizará limpiamente los iconos de las ventanas minimizadas en la parte inferior de la ventana.

Acceso a Proyectos Abiertos

El título de cada proyecto abierto se lista en la porción inferior del menú Windows, separado de la porción superior por una línea fina, con una marca a la izquierda del proyecto actualmente activo. cualquiera de los archivos abiertos puede accederse rápidamente presionando su marca.

Menú Help (Ayuda)

El menú de ayuda contiene funciones que le permiten acceder a la ayuda en línea e información acerca de Darwin.

Content Contenido)

Seleccionando Content proveerá una tabla de contenido de la información en línea que está disponible. Ud. puede examinar a través de los temas para encontrar la información que necesita.

Acerca de Darwin

Este título provee alguna información básica acerca de Darwin, incluyendo la nota de derechos de autor.

Preferencias Darwin

Si se está corriendo Darwin por primera vez, usted debe proveer a Darwin con alguna información básica de respaldo acerca de su agencia e instalar preferencias. Usted puede cambiar esta información en cualquier momento Desde el menú File seleccione Preferences. Aparecerá un cuadro con cuatro etiquetas: General; File; Number y Currency (General; Archivo; Número y Moneda).

General

Información de Agencia (oficina) y dirección

La primera porción del recuadro *General* pide información acerca de la agencia. El nombre de la agencia u oficina y la dirección se introducen aquí, y esta información se imprime en la parte superior de los reportes. Esta información será guardada e incluida automáticamente cuando otros proyectos sean creados. Sin embargo, esta información puede ser cambiada para cada proyecto.

Allow User Interface Unit Change (Permitir al Usuario Cambio de Unidades)

Este recuadro de marca permite decidir si un proyecto puede cambiar “al vuelo” entre unidades métricas o inglesas. Cuando este cuadro está marcado, Darwin permite el intercambio entre unidades para cualquier módulo; cuando no está marcado, los módulos no pueden cambiar de un sistema de unidades al otro.

Tenga en mente que el marcado de este cuadro afecta la forma de ver los datos, no la forma de su almacenamiento. Cuando un proyecto nuevo es creado, todos los módulos del mismo guardarán la información en las unidades originales.

Save Toolbar Location (Guardar Ubicación de Barra de Herramientas)

La barra de herramientas es la porción de la ventana primaria ubicada inmediatamente debajo de la barra de menú. Frecuentemente las acciones usadas se representan por iconos en esta barra y se llaman los controles de herramientas útiles. La ubicación por defecto de esta barra de herramientas es inmediatamente debajo de la barra de menú, pero puede cambiarse a cualquier ubicación al arrastrarla. Esta nueva ubicación puede convertirse en la ubicación permanente para la barra de herramientas cada vez que se cargue Darwin, si el recuadro *Save Toolbar Location* está marcado.

Enable Range Checking (Permitir Revisión de Rango)

Cada introducción numérica puede ser sujeta ya sea a limitaciones físicas o prácticas (ej. datos de entrada en años no pueden ser negativos, el Índice de Serviciabilidad Presente está definido sólo entre valores de 0 y 5, valores de confianza son un porcentaje entre 50 y 100). Para todos estos datos donde las limitaciones tienen sentido, un rango permitido de valores aceptables ha sido programado en Darwin. Cuando este recuadro está marcado, Darwin examina cada valor de entrada de datos de diseño antes de realizar los cálculos para determinar si el valor está dentro de un rango aceptable. Cuando está disponible una

guía, estos rangos aceptables son tomados de la Guía de Diseño AASHTO. De lo contrario, límites basados en el sentido común se usan para los rangos permisibles.

Cuando “Enable Range Checking” está marcado, Darwin provee un mensaje de aviso si un dato está fuera de rango e indica el rango permitido para los valores. Si “Enable Range Checking” no está marcado, Darwin no proveerá estos mensajes de advertencia. Cuando sea posible, Darwin permitirá cálculos con valores fuera de rango.

File (Archivo)

Bajo el título File (Archivo), usted especifica la ruta a los diversos tipos de archivos usados en Darwin 3.0. Estos archivos pueden estar ubicados en cualquier lugar; un método útil de organización es crear sub-carpeta separadas bajo la carpeta de Darwin de manera que los archivos sean rápidamente ubicados. Por ejemplo, si sus archivos de programa Darwin están ubicados en una carpeta llamada Darwin 3.0 en el directorio C:, las siguientes sub-carpeta podrían ser creadas:

Tipo de Archivo	Nombre Típico de Sub-Carpeta
Archivos de Proyectos	C:\DARWin30\Projects
Archivos FWD	C:\DARWin30\FWD-Data\
Plantillas	C:\DARWin30\Templates.

La ruta para las ubicaciones de las carpetas puede ser escrita directamente en el cuadro de texto adyacente o seleccionada de directorios disponibles al presionar el botón secundario de diálogo.

La fuente de datos Biblioteca Darwin es el nombre usado por la base de datos de conectividad de objetos (ODBC) para conectar la base de datos de la biblioteca Darwin. Diferentemente de las otras entradas del cuadro File, esta no es una ruta ni un nombre de carpeta, es una cadena larga de sistema identificado unívocamente información de conectividad aplicable a un recurso de base de datos ODBC. Puesto que el nombre de la fuente de datos y otros atributos pertenecientes a la administración de base de datos se organizan y administran exclusivamente por ODBC, este nombre no puede ser editado a mano.

Presionando en el botón de diálogo secundario, se recupera el diálogo de conexión de bases de datos ODBC estandarizados. Usando este diálogo, usted puede seleccionar una fuente de datos ODBC existente o crear una nueva fuente de datos ODBC. Si usted crea una nueva fuente de datos, será inicializada el momento que usted abra la Biblioteca Darwin. Para borrar una fuente de datos existente o cambiar las características para una fuente de datos existente, use el utilitario de 32 bits ODBC ubicado en el Panel de Control.

Number (Número)

El tercer cuadro le permite controlar la forma en que Darwin muestra los números para ambos sistemas de unidades métrico e inglés. Para cada sistema, lo siguiente puede ser especificado:

Decimal Symbol (Símbolo decimal) especifica el símbolo a ser usado como separador decimal, una coma o un punto puede ser escogido de la lista.

Digit Grouping Left of Decimal Symbol (Agrupación de Dígitos a la Izquierda del Símbolo Decimal) Permite a los dígitos a la izquierda el símbolo decimal ser separados por una coma, punto, espacio o no ser separados. La elección se realiza de las opciones de la lista, si se selecciona None esta agrupación no estará disponible.

Number of Digits in Groups Left of Decimal Symbol (Número de Dígitos en Grupos a la izquierda del Símbolo Decimal) Indica el número de dígitos a ser agrupados juntos. Los dígitos comúnmente se muestran en grupos de tres, sin embargo el usuario puede especificar cualquier valor.

Digit Grouping Right of Decimal Symbol (Agrupación de Dígitos a la Derecha del símbolo Decimal) Permite a los dígitos a la derecha del símbolo decimal ser separados por una coma, punto. Espacio o no separados, la elección se toma de la lista, la mas común es None.

Number of Digits in Groups Right of Decimal Symbol (Número de Dígitos en Grupos a la Derecha del Símbolo Decimal) Indica el número de dígitos a ser agrupados juntos. El usuario puede especificar cualquier valor, si se selecciona None como el dígito agrupador, esta agrupación no estará disponible.

Currency (Moneda)

El cuadro de moneda permite al usuario controlar la forma de mostrar los montos de dinero en Darwin. Esto afecta a la presentación en la rutina de optimización usada en el Módulo de diseño de pavimentos flexibles y en el Módulo de Análisis de Vida Útil.

Currency Symbol (Símbolo de Moneda) es el símbolo usado para representar la moneda, puede ser cualquier tecla o combinación de teclas.

Usuario puede especificar cualquier valor, si se selecciona None como el dígito agrupador, esta agrupación no estará disponible.

Proyecto DARWIN

El Proyecto Darwin es el componente central de Darwin 3.0. Proyecto Darwin no solo provee un punto inicial para crear nuevos diseños y análisis, le permite organizar todo su trabajo para un proyecto completo en un lugar. Piense en el Proyecto Darwin como un gabinete que contiene el diseño Darwin y los archivos de análisis, hojas de diseño, diseños finales, hojas de cálculo, reportes y cualquier otra documentación o archivos electrónicos que usted escoja poner en él.

Comenzando un Proyecto DARWIN

Cuando se inicia Darwin 3.0, el título y la información de derechos de autor aparecerá en el cuadro de mensajes hasta que se carguen todos los archivos de programa. Cuando el programa está listo para usar, la ventana del menú principal es la primera que Ud. verá.

El usuario verá que el Proyecto Darwin está vacío cuando se abre por primera vez. Tiene un número mínimo de opciones de menú File, View y Help (Archivo Ver y Ayuda) y unos pocos iconos de herramientas de ayuda (atajos para acciones frecuentes) en la barra de herramientas. El Proyecto Darwin es la base para un proyecto enero y depende del diseñador, llenarlo con los archivos y cualquier otra información útil para Ud.

Todo el trabajo en Darwin está contenido en archivos de proyecto. Antes de que Ud. pueda trabajar con los módulos de diseño, Ud. necesita ya sea comenzar un nuevo archivo de proyecto o abrir un archivo de proyecto existente. Si esta es su primera vez usando Darwin, Ud. debería comenzar un nuevo archivo de proyecto.

Creando un nuevo archivo de proyecto

Un archivo de proyecto es como un cajón de archivos una gran carpeta en la cual Ud. puede colocar diseños nuevos, diseños de sobrecarpetas, análisis de vida útil y otros documentos pertinentes. Crear un archivo en efecto titula una carpeta pero no le pone nada en ella. Para crear un nuevo archivo de proyecto:

- 1.- Desde el menú File seleccione New (Nuevo).
- 2.- En el cuadro de diálogo que aparece, introduzca un nombre para el proyecto.
- 3.- El nombre que Ud. introduzca aquí se imprimirá en los reportes.
- 4.- Seleccione el sistema de unidades (Inglés o métrico) que desea usar para su proyecto. Esto afecta la forma en que se realizan los cálculos pero no restringe la habilidad para ver los cálculos en las otras unidades.
- 5.- Seleccione si abrir el proyecto como un archivo o una plantilla
- 6.- Presione el botón OK.

A pesar de que puede ser confuso al principio, los archivos no son los mismos que los módulos de versiones previas de Darwin. Un archivo puede contener numerosos módulos de diseño y análisis, pero puede también incluir otro tipo de documentos, dibujos y material relacionado.

Abriendo un Archivo de Proyecto Existente

Cuando los archivos de proyecto están creados, Ud. puede escoger abrir proyectos existentes en lugar de crear nuevos. Desde el menú File seleccione Open Darwin mostrará todos los archivos que está ubicados en el directorio de archivo por defecto (como se especifica en Preferences) Si se desea un directorio diferente, presionando la flecha descendente en la parte superior del cuadro de diálogo al lado de la lista de directorios, acceda al directorio del computador.

La parte central de este cuadro de diálogo muestra los archivos que están ya sea por defecto o directorio especificado. Desde el cuadro de listado hacia la parte inferior del cuadro de diálogo (Files of Type) (Archivos del Tipo), pueden mostrarse ya sea todos los archivos o solo los archivos Darwin. El proyecto se abre desde este cuadro de diálogo al iluminarlo o un archivo deseado puede seleccionarse escribiendo el archivo y la ruta en File Name (Nombre de Archivo) Cuando se realice la selección deseada, presione Open.

Templates (Plantillas)

Una plantilla es un archivo por defecto que se crea de modo que Ud. no tiene que introducir valores usados frecuentemente en forma repetida. Como ejemplo, si todos sus archivos de costo de vida útil usan los mismos factores económicos, Ud. puede crear una plantilla que incluya estos valores siempre que Ud. cargue un nuevo archivo de análisis de costo de vida útil.

La porción central de este cuadro de diálogo muestra las plantillas de Darwin que están guardadas en el directorio de plantillas por defecto. Si ninguna está listada, ninguna plantilla ha sido creada. Cuando la plantillas están disponibles, un proyecto nuevo puede crearse desde a partir de una plantilla. La plantilla se selecciona al presionar en ella, luego desde los botones radiales debajo del cuadro de lista de pantallas, escoja si el nuevo archivo se abrirá como una plantilla Darwin o un proyecto Darwin. La primera diferencia es que un archivo abierto como una plantilla se guardará como plantilla y se ubicarla en el directorio de plantillas. Los archivos que se abren como plantilla retiene la estructura de archivo y todos los valores para cada uno de los módulos individuales para los cuales se introducen datos.

Sumario de la Información

El cuadro de diálogo contiene información específica del proyectos que se usa para proveer más respaldo en el proyecto y proveer un medio de localizar el proyecto. Puesto que la Summary Information (Sumario de la Información) es específica para un proyecto, está solo disponible cuando un proyecto está activo. Adicionalmente para un espacio para el autor del proyecto, palabras clave, comentarios, un título y un tema pueden introducirse. Las palabras clave son provistas por el usuario y están disponibles en la búsqueda externa.

MÓDULOS DARWIN

Mientras que el proyecto es el concepto organizativo global dentro de DARWIN 3.0, los diferentes, módulos de análisis y diseño son los bloques individuales que constituyen el proyecto. Cada módulo es un componente especializado de DARWIN que se usa para un tipo particular de diseño o análisis. Una vez que usted ha comenzado un proyecto nuevo o

abierto uno existente, Ud. está listo para comenzar a trabajar con módulos. Recuerde que los módulos son partes de un proyecto y son creados y modificados dentro de un proyecto. Existen tres formas para insertar módulos Darwin u otros archivos dentro de un proyecto: Insertar un nuevo módulo, importar un módulo Darwin 1..x ó 2.x, o insertar un objeto. Estas opciones están todas disponibles desde el menú de presión *Insert (Insertar)*.

Guardando Proyectos Darwin

Como en cualquier programa, el guardado frecuente de su trabajo es la mejor forma de minimizar frustración y esfuerzo desperdiciado, a pesar de que Darwin tiene un número intrínseco de formas para prevenir la salida del programa normalmente sin guardar el trabajo, no existe forma de restaurarlo después de una falla del sistema si este no ha sido previamente guardado.

Save (Guardar)

Guardar un proyecto actualiza el archivo para incluir todos los datos introducidos desde el guardado previo, si no ha existido un guardado previo, el archivo se guarda con un nombre por defecto, si el archivo ha sido guardado previamente, el archivo es actualizado.

Para guardar un archivo de proyecto, seleccione Save desde el menú File. El archivo se guarda automáticamente. Una alternativa a usar el menú es presionar CTR-S.

Save As (Guardar Como)

El comando Save actualiza los archivos previamente creados y retiene el nombre original del archivo. Para evitar escribir sobre un archivo previo, use el comando Save As bajo el menú File. Introduzca el nombre deseado en el cuadro de texto iluminado titulado File Name y entonces presione Save Esto crea un archivo con un nuevo nombre y retiene el archivo original sin cambios.

Imprimiendo Proyectos Darwin

Un número de características de impresión están disponibles en Darwin. Estas incluyen la habilidad para seleccionar que elementos de un módulo se imprimen y como ellos aparecen en la impresión.

Print (Imprimir)

Una vez seleccionadas todas las características de la impresora y las partes del módulo a imprimir, la opción *Print* se selecciona del menú *File*. Las elecciones que se pueden hacer aquí incluyen la impresión de la salida a un archivo en lugar de a una impresora, seleccionar la porción del archivo a imprimir (todo el archivo, seleccionar las páginas o una sección iluminada), y seleccionar cuantas copias de la salida serán impresas. Estas características normalizadas de Windows, se describen con mayor detalle en la ayuda de Windows.

Print Setup (Organizar Impresora)

Print Setup bajo el menú File identifica la impresora que está en uso y como se encuentra configurada. Las características que son fácilmente modificables incluyen la impresora, tamaño de página, y orientación de página. Información adicional de la organización de impresoras se encuentra en la ayuda de Windows.

Cerrando Proyectos Darwin

Los proyectos abiertos se cierran al seleccionar Close desde el menú File, si se han realizado cambios al proyecto que no hayan sido guardados, un apuntador preguntará si los cambios deben ser guardados antes del cierre. Al escoger no, se guardará el archivo sin ninguno de los cambios. Los proyectos también pueden cerrarse al presionar el icono en la parte superior izquierda y seleccionar Close.

Saliendo de Darwin

Se cierra Darwin al seleccionar Exit desde el menú File Si los proyectos abiertos han sido editados pero no guardados, Darwin preguntará si desea guardar el archivo antes de salir. Seleccionar Yes guardará los archivos seleccionar No saldrá del programa sin guardar los archivos, y seleccionar Cancel cancelará la salida y lo devolverá al programa.

GUÍA DE MANEJO DE PROGRAMA DARWIN

DISEÑO ESTRUCTURAL FLEXIBLE

Introducción

Dentro de DARWIN, el diseño de pavimentos flexibles (también referido como concreto asfáltico (AC) o pavimentos bituminosos) se obtienen en el Flexible Structural Design Module (Módulo de Diseño Estructural Flexible), se asume que el usuario está familiarizado con los principios básicos del diseño de pavimentos flexibles como se presenta en la Guía de Diseño AASHTO.

Adicionalmente a la capacidad básica para diseñar un pavimento AC, el Módulo de Diseño Estructural Flexible tiene muchas otras capacidades que se describen en este capítulo. Estas incluyen la capacidad para seleccionar el modo de cálculo (Menú de Opciones), para realizar un número de diseños secundarios (Menú de Cálculo) y para proveer espesores y diseño de bermas (Menú de Diseño).

Vista General del Diseño de Pavimentos Flexibles

El diseño de pavimentos flexibles comienza con la determinación del número estructural de diseño **SN**, requerido para soportar el tráfico propuesto. Todos los datos son conocidos, ellos pueden introducirse directamente en el cuadro de diálogo primario. Sin embargo, están disponibles cuadros de diálogo secundarios para el cálculo del tráfico proyectado y la determinación del módulo resiliente del suelo natural. El efecto en el número estructural resultante de los cambios en cualquiera de los datos primarios puede observarse usando la característica de análisis Sensitivity Plot (Dibujo de Sensibilidad).

Una vez que se calcula el número estructural del pavimento flexible, se diseña las capas individuales del pavimento. Existen tres diferentes métodos de cálculo disponibles para diseño de espesores: Diseño de capas, Diseño específico y Diseño Optimizado. Cada uno de estos tres procedimientos se explicará más adelante en este capítulo.

Con las capas diseñadas, el paso final de diseño es especificar los parámetros de la sección transversal y el diseño de la berma. Cuando estos se introducen, el diseño se completa y la representación gráfica del diseño está disponible a través de la característica View (Ver).

Opciones Para el Diseño de Pavimentos Flexibles

El foco primario para el diseño de pavimentos flexibles es la determinación de los números estructurales apropiados para las condiciones de diseño. Si los números estructurales del pavimento son conocidos, esta información puede ser usada para determinar la capacidad de soporte de carga del pavimento.

Modo de Cálculo

El módulo de diseño flexible tiene dos modos: Cálculo de SN y Cálculo de ESALs. Para intercambiar estas dos opciones, presione el modo apropiado del menú de presión Options.

Calculate SN (Calcular SN)

La Opción Calcular SN se usa para diseño de pavimentos. En este modo, dados los ESAL, serviciabilidad inicial y final, nivel de confianza y desviación standard total y módulo resiliente, el SN de diseño puede ser calculado. El SN de diseño entonces se usa para diseñar las capas del pavimento usando la opción de diseño de espesor en el menú de presión Design.

Calculate ESALs (Calcular ESALs)

Alternativamente, DARWIN puede ser usado para analizar la capacidad de soporte de carga para un SN dado al seleccionar Calculate ESALs bajo el menú de presión Options, dado el SN, serviciabilidad inicial y final, nivel de confianza y desviación standard total y módulo resiliente, los ESALs pueden ser calculados.

Escogiendo entre estas dos opciones, cambia ligeramente la pantalla de datos. En el modo Calculate SN los ESALs son el primer dato y la salida en la parte inferior de la ventana es el Número de Diseño Estructural. Al cambiar al modo Calculate ESALs el primer dato es el Número Estructural y el resultado en la parte inferior de la pantalla es el Número de ESALs de 80KN (18kip) Calculados.

Datos de Diseño

Cuando usted comienza por primera vez el Módulo de Diseño Estructural Flexible, un cuadro de diálogo aparece, en el cual se introducen los datos de diseño primarios, existen

dos modos de cálculo y ellos tienen efecto en la presentación de la ventana y el tipo de cálculo efectuado. La siguiente descripción es para el modo por defecto, el cual es el cálculo del número estructural (SN). El modo de cálculo de ESALs y la forma de intercambiar los módulos se describe al final de esta sección. Los siguientes datos se introducen en la ventana principal. Para introducir cada dato, simplemente escriba el valor deseado en el espacio provisto.

Descripción

En el cuadro de descripción, usted puede introducir una descripción para el diseño. Este texto podría consistir de información de ubicación, comentarios acerca del diseño (por ejemplo Prueba 1) o cualquier otro texto.

ESALs de 80Kn (18kips) Sobre el Período Inicial de Desempeño

Las aplicaciones de ESALs de 80KN (18kips) son el número acumulado de ESALs que se espera que el pavimento pueda soportar en su período inicial de desempeño (El tiempo desde su apertura al tráfico hasta su rehabilitación mayor).

En el modo de cálculo: *Calculate SN* los ESALs son un dato de diseño. El valor puede ser introducido directamente, si se conoce, o DARWIN puede calcular los ESALs a partir de datos de tráfico. Para calcular ESALs, presione el botón secundario de tráfico que está al lado del cuadro de introducción de datos de ESAL. Vea la descripción completa de cálculo de ESAL posteriormente en este capítulo para más información del cálculo de ESALs a partir de datos de tráfico.

Observe que el modo de cálculo *Calculate ESALs*, ESALs no son un dato, más bien el SN se ve como un dato, y el resultado de los cálculos de diseño es el número de ESALs. En este modo, la opción de *Calculate ESALs* en el menú de presión *Calculate* no está disponible ya que no tiene significado.

Serviciabilidad Inicial

la serviciabilidad inicial (p_o) es una medida de la suavidad del pavimento o facilidad de conducción inmediatamente después de la construcción. La serviciabilidad tiene un rango en una escala de 0 a 5. El valor 5 es el pavimento perfectamente suave, y 0 sería un

pavimento impasable. En la mayoría de los casos, la serviciabilidad inicial de un pavimento nuevo debería estar sobre 4.0. El promedio de serviciabilidad inicial para pavimentos flexibles en el Ensayo de Carreteras de la AASHO fue 4.2.

Serviciabilidad final

La serviciabilidad final (p_t) es la serviciabilidad mínima tolerable del pavimento, en la misma escala de 0 a 5. cuando la serviciabilidad del pavimento alcanza su valor terminal, se requiere una rehabilitación. En contraste con la serviciabilidad inicial que se mide en base a los registros de construcción, la serviciabilidad terminal es una función de muchos factores, incluyendo clasificación del pavimento, volumen de tráfico y ubicación. Valores típicos de serviciabilidad terminal están entre 2 y 3, dependiendo de la clasificación funcional de la carretera, las recomendaciones de AASHTO para la selección de la serviciabilidad terminal son:

- Volumen Alto (10.000 TPDA) 3.0-3.5
- Volumen Medio (3,000-10,000 TPDA) 2.5-3.0
- Bajo Volumen (3,000 TPDA) 2.0-2.5

Nivel de Confianza

La inclusión de un dato de confianza en el proceso de diseño de pavimentos es una medida de la marcada variabilidad. Como se define por la Guía de Diseño AASHTO, la confianza (R) es la probabilidad (expresada como porcentaje) de que una estructura de pavimento sobreviva al tráfico del período de diseño. Generalmente, a medida que los volúmenes de tráfico se incrementan, las consecuencias de la falla prematura del pavimento se incrementan dramáticamente. Por tanto, las rutas de alto volumen de tráfico deben ser construidas con un mayor nivel de confianza que las carreteras con bajo volumen de tráfico. Las recomendaciones AASHTO para la selección de los valores de confianza son:

Clasificación Funciona	Urbana	Rural
Interestatal y Otras Autopistas	85.0 - 99.9	80.0 - 99.9
Arterias Principales	80.0 - 99.0	75.0 - 95.0
Colectores	80.0 - 95.0	75.0 - 95.0
Local	50.0 - 80.0	50.0 - 80.0

Cuando se considera la confianza para la construcción por etapas (o rehabilitaciones planeadas), la confianza compuesta debe ser tomada en cuenta. Esto es si la confianza global deseada es un cierto valor x y n número de etapas son planeadas, incluyendo la construcción inicial. La confianza para cada etapa es $x^{1/n}$ por ejemplo, si la confianza global deseada es 90% y se planean dos etapas de construcción, el factor de confianza para cada etapa debe ser $0.90^{1/2}$, ó 95 por ciento. La construcción por etapas se discute en la sección titulada *Número de Etapas de Construcción*

Desviación Estándar Global

La desviación estándar global (S_o) toma en cuenta todos los errores o variabilidad asociada con los datos de diseño y construcción, incluyendo la variabilidad en las propiedades de materiales, propiedades del suelo de fundación, estimaciones de tráfico, condiciones climáticas y calidad de construcción. Idealmente, estos valores deberían estar basados en condiciones locales. Sin embargo, en la ausencia de otros valores la Guía de Diseño AASHTO provee valores recomendados. Para el caso donde la variación del tráfico futuro proyectado no está considerada, la Guía de Diseño AASHTO recomienda un valor de 0.44. En situaciones donde se considera la variación del tráfico futuro proyectado, se recomienda un valor de 0.49.

Los dos valores diferentes reflejan la confianza del diseñador en la proyección de ESALs, Si existe fuerte confianza en el cálculo de ESALs, entonces se debería usar el valor menor de 0.44. Puesto que la desviación standard global incorpora toda la variabilidad del diseño, deben usarse los valores promedio para todas las propiedades de materiales y otros datos de diseño.

Módulo Resiliente del Suelo Natural de la Carretera (Firme)

El módulo resiliente (M_R), es la propiedad del material usado para representar las características de soporte del suelo natural en el diseño de pavimentos flexibles. En términos generales, es una medida de la deformación del suelo en respuesta a aplicaciones (cíclicas) de cargas mucho menores que la carga de falla.

El proceso de diseño de AASHTO, requiere la introducción del módulo resiliente efectivo del suelo de la carretera (firme), Este módulo resiliente efectivo es una medida que representa el efecto combinado de todos los valores de módulos estacionales en un tipo de media ponderada. Si el valor del módulo resiliente efectivo se conoce, puede ser introducido directamente. Si los valores de módulos estacionales se conocen, DARWin puede calcular el módulo resiliente efectivo.

Para calcular el módulo resiliente efectivo, presione el botón secundario que está ubicado al lado del cuadro de introducción del módulo resiliente. Una discusión más detallada de los datos asociados con el cálculo del módulo resiliente efectivo se encuentra en la sección titulada *Calculando Datos de Diseño Para Pavimentos Flexibles*.

Número de Etapas de Construcción

La experiencia muestra que aparte de la capacidad estructural de algunos pavimentos, debe existir un período máximo de desempeño asociado con una estructura inicial dada, sujeta a significativos niveles de tráfico de camiones pesados. Si este período de desempeño es menor que el período de análisis, puede existir la necesidad de considerar construcción por etapas o rehabilitaciones planeadas en el análisis del diseño. La construcción por etapas es también apropiada cuando la estructura que se necesita para llevar el tráfico futuro proyectado no puede ser construida por razones económicas.

Cuando se considera la construcción por etapas, es especialmente importante para reconocer la necesidad de componer la confianza del diseño para cada etapa individual de la estrategia. Por ejemplo, si cada etapa de un proyecto de tres fases (ej. diseño de pavimento inicial con dos sobrecarpetas) tiene un 90 por ciento de confianza, la confianza global para la estrategia de diseño es de 0.90^3 , ó 72.9 por ciento. Al contrario si se desea una confianza global del 95 por ciento para el mismo proyecto en tres etapas, la confianza individual para cada etapa debe ser $0.95^{1/3}$, ó 98.3 por ciento.

El dato que se requiere es el número de etapas planeadas de construcción. Darwin realizará los ajustes necesarios al factor de confianza basado en el número de etapas seleccionado.

Número Estructural

El número estructural representa la capacidad de un pavimento flexible para soportar las cargas estructurales. En el modo de cálculo: *Calculate SN*, el Número estructural de diseño es el resultado del procedimiento de diseño. Aparece al final de los datos, y cuando se realizan los cálculos, el cuadro adyacente mostrará el número estructural de pavimento requerido, basado en los datos específicos de diseño.

En el modo de cálculo: *Calculate ESALs*, el Número Estructural de pavimento es el primer dato y debe introducirse en el cuadro adyacente.

Calculando Datos de Diseño de Pavimentos Flexibles

En el *Módulo de Diseño Estructural Flexible*, dos datos pueden ser calculados de datos adicionales, siguiendo procedimientos descritos en la Guía AASHTO. El módulo resiliente del suelo de fundación puede calcularse de valores de módulos estacionales y el número total de ESALs puede calcularse de datos de tráfico usando ya sea un método simple o riguroso.

Cálculo de ESALs

El caso puede presentarse cuando el diseñador escoge calcular el valor de ESALs de otra información de tráfico en lugar de introducir directamente un número. Dos métodos se proveen para calcular los ESALs, el llamado procedimiento simple basado en el TPDA y otros datos promedio y un procedimiento riguroso basado en datos para cala clasificación vehicular. Estos están ambos ubicados bajo el menú *Calculate*. La opción deseada se selecciona con los controles tab: *Simple* y *Riguroso*.

Simple ESAL Calculation (Cálculo Simple de ESAL)

El procedimiento simple de cálculo provee un valor estimado de los ESAL de 80KN (18kips) a través de la aplicación de un factor de camión promedio (TF) para todos los camiones. Puesto que el factor de camión es un valor promedio, puede no producir resultados de la precisión deseada, dependiendo de la actual distribución de pesos por eje de los camiones. En el método de cálculo simple, la contribución del global de ESALs para vehículos en FHWA Clases 1 a 4 no está considerada.

Para el procedimiento simple, se requieren los siguientes datos: período de desempeño, promedio diario de tráfico en dos direcciones, el número de carriles en la dirección de diseño, porcentaje de todos los camiones en un carril de diseño, porcentaje de camiones en una dirección de diseño, porcentaje (del TPDA) de camiones pesados FHWA clase 5 o mayor, factor de camión inicial promedio, tasa anual de crecimiento de factor de camión y tasa anual de crecimiento del volumen de camiones. Para estas dos últimas tasa de crecimiento, un crecimiento simple o compuesto puede ser especificado.

El resultado de estos cálculos es el número de ESALs sobre el período inicial de desempeño. Si se desea, este número puede ser usado como dato de diseño al presionar el botón *Export*.

Período de Desempeño

El período de desempeño es la vida esperada o deseada del pavimento en años, desde el tiempo en que el pavimento se construye hasta que requiere una rehabilitación mayor, como ser una sobrecarpeta estructural o reconstrucción. Un pavimento es típicamente diseñado para soportar todo el tráfico esperado durante el período de desempeño.

Tráfico Diario en Dos Direcciones

El tráfico diario en dos direcciones, tráfico promedio diario anual (TPDA) es el conteo vehicular bi-direccional en 24 horas para un pavimento nuevo cuando se abre al tráfico. El conteo se da en vehículos por día e incluye todos los tipos de la clasificación de la FHWA. El TPDA inicial en dos direcciones se modifica con un factor de crecimiento por el período de diseño.

Si la carretera nueva se va a reconstruir en la misma ubicación de un pavimento existente, los volúmenes de tráfico antes de la reconstrucción pueden ser usados como un estimado del TPDA. Si la carretera es nueva, pueden hacerse estimadores usando conteos de carreteras cercanas y proyectando volúmenes de tráfico que la nueva carretera podría generar. Un departamento de planeamiento de tráfico de una Agencia, puede ser capaz de proveer estos estimados.

Número de Carriles en la Dirección de Diseño

El TPDA es un conteo bidireccional, pero para propósitos de diseño, se necesita sólo considerar el tráfico que se mueve en una dirección. para muchas carreteras, existe el mismo número de carriles en cada dirección. Si el número de carriles no es el mismo, puede ser apropiado diseñar diferentes estructuras para cada dirección del tráfico.

Porcentaje de Todos los Camiones en el Carril de Diseño

En una ruta multi-carril, el tráfico de camiones se puede encontrar en todos los carriles, para diseñar una estructura de pavimento, el tráfico en el carril más cargado es de interés, y a este carril se refiere como la carril de diseño. El porcentaje para todos los camiones en la carril de diseño, también referida como el factor de distribución de carril, es un indicador de cuantos de los vehículos más cargados están transitando en el carril de diseño (generalmente en el carril exterior). Las recomendaciones de la Guía de Diseño AASHTO sobre los factores de porcentaje de distribución de camiones son como sigue:

Número de Carriles en cada Dirección	Porcentaje de 80KN (18kips) ESALs en el Carril de Diseño
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Ref. Guía de Diseño AASHTO, Parte 2, Sección 2.1.2.

Porcentaje de Camiones en la Dirección de Diseño

El porcentaje de camiones en la dirección de diseño, también referido como el factor de distribución direccional, se aplica al tráfico bi-direccional TPDA para considerar por cualquier diferencia en volúmenes de tráfico de camiones o pesos por dirección. Generalmente, el factor de distribución direccional es alrededor del 50%, indicando que la mitad del tráfico viaja en cada dirección. Sin embargo, algunas ciudades, áreas de recreo, áreas industriales y otras localidades pueden causar una distribución direccional desproporcionada, en la cual una dirección de viaje puede tener mayores volúmenes de

tráfico o pesos. En este caso, la dirección de los mayores volúmenes deben ser considerados como la dirección de diseño.

Porcentaje de Camiones Pesados (del TPDA) de Clase 5 FHWA o Mayor.

En el procedimiento de cálculo simple, el porcentaje de camiones (en función del TPDA) es el número de vehículos en la clasificación 5 de la FHWA y mayores en el flujo de tráfico, dependiendo de la vía, este número puede variar desde un mínimo de 2 a 3 por ciento hasta tanto como 50 por ciento o más. La clasificación de vehículos de la FHWA se presenta a continuación:

<u>Clasificación Vehicular</u>	<u>Descripción</u>
1	Motocicletas
2	Automóviles de pasajeros
3	Otros simples de 2 ejes, 4 llantas
4	Buses
5	2 ejes, 6 llantas camiones simples
6	3 ejes camiones simples
7	4 o más ejes, camiones simples
8	4 o menos ejes camiones tráiler simple
9	5 ejes camiones con tráiler simple
10	6 o más ejes camiones tráiler simple
11	5 o menos ejes, camiones multi-trailer
12	6 ejes camiones multi-trailer
13	7 o más ejes camión multi-trailer

Vehículos de la clasificación FHWA 1 a 4 no contribuyen significativamente a los ESALs de 80KN (18kips) y son generalmente ignorados en el procedimiento de cálculo simple de ESAL.

Factor de Camión Promedio Inicial

El Factor de Camión Promedio (ESALs/Camión) representa el número de aplicaciones de ESAL ocasionadas por una pasada simple de un camión dado. Por el procedimiento de cálculo simple, el factor de camión es un valor medio, promediados sobre todas las

Clasificaciones (Clasificación 5 de la FHWA y mayores). El cálculo de un factor de camión para una clasificación vehicular individual se ilustra en el ejemplo siguiente (todos los números son supuestos)

Carga de Eje Simple	Número de Ejes	Factor Equivalente de Carga	ESALs
0-2000	12	0.002	0.024
2000-4000	123	0.02	2.46
4000-6000	555	0.12	66.6
etc.			

Carga de Eje Tándem	Número de Ejes	Factor Equivalente de Carga	ESALs
0-2000	12	0.0002	0.0024
2000-4000	33	0.02	0.66
4000-6000	365	0.32	116.8
etc.			

Total ESALs = 186.55 Número de camiones pesados = 151

Factor promedio de camión = $186.55/151 = 1.235$ ESALs/Camión

Tasa Anual de Crecimiento de Factor Camión

Así como el número de vehículos que usa un pavimento tiende a incrementarse con el tiempo, el peso de esos vehículos puede incrementarse. La tasa anual de crecimiento del factor de camión acomoda el porcentaje de incremento en el peso de los camiones a lo largo del tiempo. Este factor se aplica a la fórmula en la cual se calculan los ESALs; crecimiento

en el factor de camión resultará en un incremento dramático de los ESALs sobre la vida del pavimento.

Tasa Anual de Crecimiento del Volumen de Camiones

Los ESALs calculados sobre la vida de diseño de un pavimento requieren la introducción del número de aplicaciones que se espera que pueda soportar el pavimento. A menudo un valor inicial se usa para el tráfico total, modificado por un porcentaje de crecimiento en el volumen de tráfico. El dato para una tasa de crecimiento anual del volumen de tráfico permite al diseñador especificar el incremento anual en el número de camiones solamente, lo cual puede modelar más precisamente la tendencia de crecimiento en algunos pavimentos.

Tasa de Crecimiento

El TPDA es un valor inicial, que puede incrementarse en el tiempo como resultado de los cambios demográficos; cambios en las formas de uso comercial o progresión natural. DARWIN permite al crecimiento ser considerado usando ya sea una tasa simple de crecimiento o una tasa compuesta. El método de cálculo de la tasa de crecimiento se selecciona de una lista en cascada.

La tasa simple de crecimiento asume que el TPDA se incrementa en el mismo monto cada año. Como un ejemplo, si el TPDA es 10.000 y la tasa simple de crecimiento es de 5 por ciento, se estima que cada año el TPDA crecerá por 500 vehículos. Entonces, el segundo año el TPDA será de 10.500, el tercero de 11.000, y así sucesivamente.

La tasa de crecimiento compuesta, aplicada al TPDA, es un estimado del porcentaje del crecimiento anual en el volumen de tráfico. Con la tasa compuesta, el porcentaje de crecimiento para cualquier año dado se aplica al volumen del año precedente.

La fórmula usada para calcular el crecimiento compuesto es:

$$GF = (1 + i)^n$$

Donde:

GF = Un factor de crecimiento que se multiplica por el valor inicial

i = La tasa anual de crecimiento

n = el período en años

Para una tasa compuesta del 5% y un TPDA de 10,000, el TPDA en el segundo año será 10,500, en el tercer año será:

$$10,500 + (0.05 \times 10,500) = 11,025$$

En el cuarto año será:

$$11,025 + (0.05 \times 11,025) = 11,576$$

Y así sucesivamente.

Cálculo Riguroso de ESAL

El cálculo más riguroso de ESAL se realiza al separar los vehículos pesados en conteos para cada uno de los 13 tipos de vehículos de la FHWA. Cuando los factores individuales de camión y los factores de crecimiento se aplican a cada clase de vehículo, el cálculo resultante es una proyección más precisa de ESALs.

Varios de los datos para el procedimiento riguroso son los mismos que aquellos para el procedimiento simple. Estos incluyen período de desempeño, tráfico diario en dos direcciones, número de carriles en la dirección de diseño, % de todos los camiones en el carril de diseño y % de camiones en la dirección de diseño. Estos datos se describen en la sección previa. Los diferentes datos se ubican al presionar el cuadro *Rigorous*.

Datos para las 13 clases de vehículos están organizados por fila, con todas las filas numeradas a lo largo del lado izquierdo de la ventana. Datos para cada clase de vehículo incluyen el porcentaje de crecimiento del TPDA, % anual de crecimiento, promedio inicial del Factor de Camión y % de crecimiento anual del Factor de Camión.

Porcentaje del TPDA

Este dato se refiere al porcentaje del total del TPDA contribuido por cada clase de vehículo. En el procedimiento riguroso, se introduce el porcentaje de todos los vehículos en cada una de las 13 clasificaciones de la FHWA. La suma del porcentaje de los vehículos en cada clasificación, mostrada en un cuadro debajo de esta columna debe sumar el 100 por ciento.

Porcentaje Anual de Crecimiento

En el procedimiento simple, una tasa de crecimiento se aplica al flujo total del tráfico (TPDA). En este procedimiento, una tasa separada de crecimiento puede aplicarse a cada

clase de vehículo. esto puede ser un refinamiento importante, ya que las tasas de crecimiento en las clases de camiones pueden tener un efecto mucho más dramático en los ESALs si ellos difieren substancialmente de la tasa promedio de crecimiento en el flujo total de tráfico.

Factor de Camión Promedio Inicial

El Factor de Camión Promedio (ESALs/Camión) se requiere para cada clase de vehículo. Esto es calculado en forma muy similar al valor promedio calculado para todos los vehículos. Un ejemplo de este cálculo se sigue para vehículos clase 9:

Carga de Eje Simple	Número de Ejes	Factor Equivalente De Carga	ESALs
0-2000	2	0.002	0.002
2000-4000	23	0.02	0.46
4000-6000	279	0.12	33.48
etc.			

Carga de Eje Tándem	Número de Ejes	Factor Equivalente de Carga	ESALs
0-2000	0	0.0002	0.00
2000-4000	17	0.02	0.34
4000-6000	566	0.32	181.12
etc.			

Total ESALs = 215.40 Número de camiones pesados = 97

Factor promedio camión clase 9 = $215.40/97 = 2.22$ ESALs/Camión

Ref: Guía AASHTO, Apéndice D, p. D-1

Tasa Anual de Crecimiento de Factor Camión

Una tasa anual de crecimiento del factor de camión es un dato que permite mayor refinamiento en las proyecciones de tráfico, Así como los volúmenes de tráfico se incrementan, también pueden hacerlo las cargas que cada clase lleva. En el cálculo riguroso, a cada clasificación de vehículo se le puede asignar su propia tasa de crecimiento si se desea.

ESALs Acumulados en el Período de Desempeño

Los ESALs acumulados se calculan para cada clase de vehículo y se muestran en el extremo derecho de este cuadro de diálogo, examinando estos resultados calculados, es una buena forma de ver las contribuciones de los diferentes tipos de vehículos en el total de las cargas de tráfico.

ESAL Calculados

El resultado del cálculo riguroso son los ESALs acumulados sobre el período de desempeño para cada clase de vehículo. Estos entonces se totalizan el cuadro de los ESAL calculados ubicado en el extremo inferior derecho del cuadro de diálogo. En este procedimiento, es fácil identificar aquellas clases de vehículos que pueden realizar contribuciones significativas o insignificantes al total de ESALs.

Los ESALs acumulados para cada clasificación vehicular se totalizan para arribar a un valor global de ESAL. Este número puede ser exportado a la ventana de diseño primaria presionando *Export*.

Módulo Resiliente del Firme de la Carretera

A pesar de que el módulo resiliente simple se usa para el dato de diseño, las condiciones varían a lo largo del año dependiendo del contenido de humedad, material, condiciones de congelamiento y deshielo entre otros factores. A medida que las condiciones de soporte cambian, igualmente el potencial de daño al pavimento causado por las cargas aplicadas. Estos cambios pueden ocurrir a cualquier intervalo regular (cada valor introducido representa una porción igual del año). Por ejemplo, si se introducen seis valores de módulo resiliente, cada condición se asume que existe por dos meses (12/6) del año.

Si los valores de los módulos resilientes estacionales son conocidos, DARWIN puede calcular un módulo resiliente global que considere el efecto de todos los diferentes valores de módulos. Existen diversas formas de determinar el módulo resiliente estacional del suelo:

- Realizar ensayos de laboratorio de módulo resiliente (AASHTO T294-92, Resilient Modulus of Unbound Granular Base/Subbase Materials and Subgrade Soils - SHRP Protocol P46) en muestras representativas del suelo en condiciones de esfuerzo y humedad simulando aquellos de las humedades de las estaciones primarias (eg. las estaciones durante las cuales módulos resilientes significativamente diferentes se pueden obtener). Esto establecerá una relación de laboratorio entre el módulo resiliente y el contenido de humedad, que puede ser usado para estimar el contenido de humedad en sitio del suelo durante las diferentes estaciones para generar valores de módulos resilientes para estas estaciones.
- Recalcular valores de módulos resilientes para diferentes estaciones durante el año usando deflexiones medidas en pavimentos en servicio construidas con materiales de sub-rasante y ajustados a valores de laboratorio.
- Estimar los valores de módulos resilientes estacionales de las relaciones apropiadas entre los módulos resilientes y otras propiedades conocidas de los suelos.

Darwin determina el módulo resiliente efectivo del pavimento al considerar el daño relativo que ocurre durante cada estación.

Puesto que no todas las agencias tienen el equipo para realizar ensayos de módulos resilientes, existen correlaciones aproximadas que han sido desarrolladas para relacionar otros indicadores de resistencia del suelo con el módulo resiliente. Sin embargo, debe enfatizarse que estas relaciones son aproximadas y deben ser aplicadas cuidadosamente puesto que el módulo resiliente es altamente influenciado por las propiedades del suelo. Las agencias son animadas fuertemente para desarrollar sus propias relaciones basadas en los materiales locales y las condiciones climáticas. Correlaciones típicas se encuentran en la Guía de Diseño AASHTO Parte I, Sección 1.5.

Como se indicó anteriormente, presionando el botón de diálogo secundario al lado del dato del módulo resiliente del firme, se llama a una ventana secundaria en la cual se pueden

introducir valores del módulo estacional. Esta ventana de cálculo puede también accederse bajo el menú *Calculate*. Una vez abierta, existen tres datos en esta ventana: El número de estaciones, una descripción de las mismas y el módulo resiliente durante dicha estación.

Season (Estación)

El número de estaciones depende completamente del usuario. Las estaciones se añaden al presionar el botón del extremo izquierdo en la esquina superior derecha de la ventana. Esto inserta estaciones numeradas, hasta un máximo de 24. Incidentalmente, los otros botones en esta fila la estación seleccionada y sus datos arriba y abajo dentro de la ventana y borran las filas seleccionadas.

Season Description (Descripción de la Estación)

Cuando las estaciones se introducen, ellas son automáticamente numeradas. Si se desea, ellas pueden también describirse, usando cualquier texto y combinaciones de caracteres deseados. La duración de la estación está implicada por el número de estaciones introducidas para los datos, ya que todas las estaciones son de la misma longitud. La descripción de las estaciones es también provista por el usuario y puede tener cualquier nombre. Las estaciones son usualmente definidas por un cambio importante en el módulo resiliente y por tanto no necesita corresponder a los meses de las cuatro estaciones del año u otros períodos definidos de tiempo. Observe, sin embargo que la aplicación de este procedimiento requiere que las estaciones definidas tengan la misma duración. Si existen cuatro estaciones, cada una debe ser de tres meses de duración, si existen ocho estaciones cada una debe ser de 1.5 meses de duración.

Roadbed Soil Resilient Modulus (Módulo Resiliente de la sub-rasante)

Para cada estación definida, debe introducirse un módulo resiliente. DARWIN sólo usa los módulos que se introducen para cálculo, de manera que si se introducen 24 estaciones pero se proveen sólo datos para 6, estos seis datos se usarán para el cálculo. El resultado final se obtiene al presionar el botón *Calculate* y se muestra en el cuadro de salida al lado de *Calculated Resilient Modulus*. El valor resultante puede ser exportado al presionar el botón *Export*.

Características de Diseño de Pavimentos Flexibles

En el procedimiento de diseño AASHTO, el cálculo del diseño del pavimento produce un número estructural. Este número estructural expresa la resistencia estructural de un pavimento flexible. Este valor, que es resultado de la ecuación de diseño AASHTO, se convierte a espesores individuales de capas en el pavimento a través de la siguiente relación:

$$SN = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3 + + a_n d_n m_n$$

Donde:

SN = Número Estructural

a_i = coeficiente estructural actual para la capa i

d_i = espesor de la capa i

m_i = coeficiente de drenaje para la capa i

Mayor información en la determinación del SN está disponible en la Sección 3.1.1 Parte II y en Apéndice H de la Guía de Diseño AASHTO.

El proceso de convertir el SN del pavimento en espesores para cada capa se alcanza en el menú *Design*. Este menú de presión provee tres opciones: *DARWIN Library*, *Thickness Design* y *Shoulder Design* (*Biblioteca DARWIN*, *Diseño de Espesores* y *Diseño de Bermas*). La función y los datos para cada una de estas opciones de diseño se describen en la siguiente sección.

Diseño de Espesores

DARWIN provee tres métodos para determinar los espesores de las varias capas de un pavimento flexible: *Layered Analysis Thickness Design*, *Specified Thickness Design* y *Optimized Thickness Design* (*Diseño de Espesores Análisis por Capas*, *Diseño Especificado de Espesores* y *Diseño Optimizado de Espesores*). Estos métodos se identifican con su propio lugar en el cuadro de diálogo *Thickness Design*. Al presionar este cuadro, se selecciona el método a usar.

En el método de *Diseño de Espesores Análisis por Capas*, la ecuación del diseño estructural flexible de AASHTO se resuelve usando el módulo elástico de la capa por debajo de la capa en consideración, comenzando con la capa inferior. Sin embargo, la

ecuación no es válida para el cálculo del SN para cualquier capa sobre una que tenga un módulo elástico mayor a 276 MPa (40,000 psi) Los espesores para todos estos tipos de capas deben ser especificados.

Trabajando de la sub-base hacia arriba, se calcula un SN para cada capa especificada, y el correspondiente espesor para dicha capa se calcula al dividir el SN por el producto del coeficiente estructural y el coeficiente de drenaje para dicha capa. El espesor calculado y el SN para cada capa se muestran en la columna del extremo derecho de la ventana.

El método: ***Diseño de Espesores Análisis por Capas*** es más aplicable cuando no existen restricciones iniciales para espesores de capas. Los espesores de capas calculados resultantes pueden ser evaluados para que sean razonables y modificados usando el método de *Diseño Especificado de Espesores*.

El método de ***Diseño Especificado de Espesores*** permite la introducción directa de los espesores de capas, los coeficientes estructurales y de drenaje de modo de satisfacer el requerimiento de número estructural de un pavimento flexible. En este caso, el programa no calculará espesores de capas, pero en su lugar permitirá al usuario introducir cualquier número de combinaciones para satisfacer el requerimiento de número estructural.

El uso del método *Diseño Especificado de Espesores* es más aplicable cuando el diseñador está razonablemente confiado acerca de los espesores deseados de la mayoría o todas las capas y desea afinar un diseño. Esto se hace a través de un proceso iterativo hasta que resulta un diseño aceptable.

Otro método de diseño de espesores de Concreto Asfáltico es el método de ***Diseño Optimizado de Espesores***, el cual está basado en técnicas de programación lineal. En esta forma, el espesor se calcula para cada capa de los datos de cada coeficiente estructural y de drenaje de cada capa, costos unitarios por área y restricciones de espesores máximos y mínimos. Una solución óptima se presenta y maximiza la estructura del pavimento mientras que simultáneamente minimiza los costos, sujeto a las restricciones de diseño especificadas por el usuario.

Se recomienda al usuario realizar los cálculos usando estos tres métodos y comparar los resultados obtenidos de modo que sean razonables y construibles. Siguiendo el uso del

Diseño de Espesores, Análisis por Capas y el Diseño optimizado de Espesores, los diseños pueden fácilmente ser refinados usando el método *Diseño Especificado de Espesores*.

Layered Analysis Thickness Design Method (Método de Diseño de Análisis de Espesores por Capas)

En el *Método de Diseño de Análisis de Espesores por Capas*, DARWIN resuelve para cada espesor de capa de un pavimento flexible usando metodología descrita en la Guía de Diseño AASHTO. Esta aproximación resuelve para el número estructural de la capa basado en el módulo elástico de la capa inferior. El módulo elástico se usa en la ecuación de diseño como el módulo resiliente. El algoritmo comienza por resolver para el espesor de la capa inferior y trabaja hacia arriba. Una capa se diseña al especificar un coeficiente estructural, de drenaje y el módulo elástico. Cualquier espesor de capa puede especificarse o un espesor mínimo puede especificarse, pero al hacerlo la capa en el sistema del pavimento puede estar sub-dimensionada. Este método no es aplicable para el diseño de una capa individual sobre otra que tenga un módulo elástico mayor a 276 MPa (40,000 psi). Por tanto el método no es aplicable para el diseño de capas colocadas sobre la mayoría de los materiales estabilizados.

Capa (Layer)

Cada capa en el sistema del pavimento se numera consecutivamente desde la superficie al firme. La capa de superficie es la capa número 1, la base granular es la capa número 2 y así. La última capa es la capa colocada directamente sobre el firme (el firme no se cuenta como una capa). Un máximo de 8 capas se permiten en DARWIN.

El número de capas en una estructura de pavimento es un valor diseñado por el usuario. Las capas se adicionan o sustraen usando los botones *Inser Layer* o *Remove Layer* en la esquina superior derecha del cuadro de diálogo.

Descripción de Materiales

Puede adjuntarse una descripción de texto para cada capa incluida en el diseño de pavimentos flexibles como referencia. El dato de formato libre no tiene efecto en el diseño. Para añadir una descripción del material, presione en el área del cuadro de texto y comience a escribir.

Coefficiente Estructural

Los coeficientes de capas (a_i) expresan la relación empírica entre el SN y el espesor de capa, y son una medida de la capacidad relativa del material para funcionar como componente estructural del pavimento. Cada capa en un sistema de pavimento flexible debe asignarse a un coeficiente de capa de modo de determinar los espesores requeridos de capas, o al contrario, convertir los espesores actuales de las capas en números estructurales. A pesar de que el módulo elástico (resiliente) ha sido adoptado como la medida estándar de calidad del material, es aún necesario identificar los coeficientes de las capas correspondientes a causa de su trato en el diseño de los números estructurales. Las correlaciones disponibles para determinar el módulo de ensayos como ser el valor R y CBR. Sin embargo, la estimación de los coeficientes de capas para cada tipo mayor de material se describe en las siguientes secciones.

Asphalt Concrete Surface Course (Pista de Superficie de Concreto Asfáltico)

El coeficiente de capa para una pista de concreto asfáltico (a_1) es una función del valor del módulo elástico del material. la figura 2.5 en la sección II de la Guía de Diseño AASHTO provee un cuadro que puede ser usado para estimar el coeficiente estructural de la capa de una superficie densamente graduada de concreto asfáltico basado en su módulo elástico a 20° C (68°F). el coeficiente promedio de la superficie de concreto asfáltico en el ensayo de carreteras AASHO fue de $(a_1) = 0.44$

Granular Base Layers (Capas de Base Granular)

La figura 2.6 en la Sección II de la Guía de Diseño AASHTO provee un gráfico que puede ser usado para estimar el coeficiente estructural de la capa para una base granular (a_2) de una de cuatro resultados de ensayos de laboratorio en un material de base granular. Estos resultados se basan en los promedios del ensayo de carreteras AASHO para materiales granulares:

$(a_2) = 0.14;$	$E_{BS} = 210,000 \text{ kPa (30,000psi)}$
CBR = 100 (aprox);	R-value = 85 (aprox)

Granular Subbase Layers (Capas de Subbase Granular)

La figura 2.7 en la Sección II de la Guía de Diseño AASHTO provee un gráfico que se puede usar para estimar el coeficiente estructural para materiales de sub-base granular (a_3) de uno de cuatro resultados de laboratorio sobre materiales granulares para sub-bases. Las bases del ensayo de carreteras AASHO para estas correlaciones son:

$$\begin{aligned} (a_3) &= 0.11; & E_{BS} &= 105,000 \text{ kPa (15,000psi)} \\ \text{CBR} &= 30 \text{ (aprox);} & \text{R-value} &= 60 \text{ (aprox)} \end{aligned}$$

Cement Treated Bases (Bases Tratadas con Cemento)

La figura 2.8 en la Sección II de la Guía de Diseño AASHTO provee un gráfico que se puede usar para estimar el coeficiente estructural para una base tratada con cemento (a_2) ya sea de su módulo elástico o de su resistencia a la compresión no confinada a los 7 días.

Bituminous-Treated Bases (Bases con Tratamiento Bituminoso)

La figura 2.9 en la Sección II de la Guía de Diseño AASHTO provee un gráfico que se puede usar para estimar el coeficiente estructural para una base de tratamiento bituminoso (a_2) ya sea de su módulo elástico o de su estabilidad Marshall (AASHTO T245, ASTM D1559).

Ref: Guía de Diseño AASHTO, Parte II, Sección 2.3.5

Guía de Diseño AASHTO, Parte II, Sección 3.1.4

Guía de Diseño AASHTO, Parte II, Sección 3.1.5

Coeficiente de Drenaje

El efecto del drenaje en la vida de un pavimento para pavimentos flexibles se cuantifica a través del uso de un coeficiente de drenaje (m_i). Este factor ha sido integrado en las ecuaciones de número estructural como un modificador al coeficiente de capa (a_i) y al espesor de la capa (d_i).

$$SN = a_1 d_1 + a_2 d_2 m_2 + a_3 d_3 m_3 + \dots + a_n d_n m_n$$

El coeficiente de drenaje sólo tiene sentido al considerar los efectos de drenaje en bases no tratadas y capas de sub-base. El posible efecto del drenaje en la superficie de una pista de concreto asfáltico y en cualquier capa estabilizada no se considera (ej $m_1 = 1$). Entonces, para cualquier capa de este tipo, incluyendo la superficie del pavimento, $m_i = 1$ debe

introducirse. Esto se muestra en la ecuación arriba mencionada por la omisión del coeficiente de drenaje como modificador de la capa de superficie.

El efecto del drenaje en el desempeño de pavimentos es una función de la calidad del drenaje (ej. el tiempo requerido para que el pavimento escurra) y el tiempo durante el año que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación. Depende del diseñador determinar los niveles relativos de cada uno de estos valores para las condiciones específicas consideradas para el diseño. La calidad del drenaje depende de las permeabilidades de los materiales de base y fundación, el diseño de la sección transversal estructural y la presencia de drenes de borde. El período de tiempo durante el año en que el pavimento estará expuesto a los niveles cercanos a la saturación es una función de las características de precipitación y evapotranspiración que son inherentes al clima de la región en particular. Guía en la selección del coeficiente de drenaje se provee en la siguiente tabla:

Calidad de Drenaje	Menos de			
	1%	1-5%	Más de 5-25%	25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Buena	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy Pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Calidad de Drenaje	Agua Removida Dentro de:
Excelente	2 horas
Buena	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy Pobre	Agua no drena

Ref: Guía de Diseño AASHTO, Parte I, Sección 1.8

Guía de Diseño AASHTO, Parte II, Sección 2.4.1

Espesor Especificado

El espesor especificado de la capa (d_i) es el espesor designado por el usuario para cualquier capa el sistema de pavimento flexible. Un espesor puede ser especificado cuando una agencia define restricciones en capas específicas, por ejemplo. una capa sub-base granular de 450mm (18in) puede ser especificada a fin de proveer protección contra heladas del pavimento. Cualquier capa con un espesor especificado no se considera como parte de los cálculos del análisis de teoría de capas (para el propósito de determinar espesores).

Espesor Mínimo

Un espesor mínimo puede ser especificado para una capa de modo de satisfacer restricciones del usuario o la agencia. Estas restricciones pueden ser el resultado de una política de diseño, consideraciones constructivas o experiencia. Cuando se especifica un espesor mínimo, DARWIN calcula el espesor para dicha capa y la compara con el espesor mínimo. Si el espesor calculado es menor que el espesor mínimo, se selecciona el espesor mínimo. Si el espesor calculado es mayor que el espesor mínimo, se usa el espesor calculado.

Módulo Elástico

El módulo elástico de una capa (E_i) es la relación de esfuerzo deformación para un material dado. En el método de *Análisis de Diseño de Espesores por Capas*, un módulo elástico debe introducirse para cada capa que se incluya en el diseño, el módulo elástico se introduce como módulo resiliente para completar los cálculos de espesores de capas.

Los valores de módulos deben estar relacionados con el coeficiente estructural usando los ábacos apropiados de correlación en la Guía de Diseño AASHTO. Sin embargo, estos valores se tratan independientemente en DARWIN y es el parámetro de la resistencia del módulo elástico la que se usa para determinar los números estructurales para cada capa. El coeficiente estructural se usa para calcular el espesor de capa una vez que se calcula el número estructural. Notación para los valores del módulo elástico incluyen E_{AC} para el módulo elástico del concreto asfáltico, E_{BS} para la capa base y E_{SB} para la capa sub-base.

Para la superficie de concreto asfáltico, un módulo elástico puede obtenerse al ensayar el material de acuerdo con ASTM D4123. Este ensayo también debe ser usado para capas bases estabilizadas

Ref. Guía de Diseño AASHTO Parte II Sección 2.33.

Ancho Unidireccional

Esta columna pide el dato del ancho para cada capa en la dirección de diseño. El ancho del pavimento es un dato que se usa en la vista de la sección transversal del pavimento y cálculos de cantidades, pero no es necesario para cálculos de diseño de espesores.

Precisión del Espesor

Existen dos posibilidades disponibles para mostrar los espesores calculados de las capas. Seleccionando *Actual* mostrará el número estructural tal como se lo ha calculado, redondeado a dos decimales. Esto usa los espesores de capas calculados como un dato. Escogiendo *Nearest (El más cercano)* ajusta los espesores calculados para cada capa al redondearlos a la precisión de su elección. Entonces el SN es recalculado basado en los espesores redondeados. Esta opción se provee por que muchos pavimentos se construyen con capas individuales especificadas a valores redondeados, los cuales en alguna forma alteran el número estructural del pavimento.

Espesor Total

Debajo de la columna con los valores de espesores de capas calculados, (o valores introducidos para el método de *Diseño Especificado de Espesores*), existe un cuadro de texto en el cual se muestra la suma de los espesores individuales de capas. Está sombreado, lo que muestra que es calculado por DARWIN y sirve como un recordatorio útil del espesor total calculado del pavimento.

Fuente de Diseño de SN

El SN de diseño puede obtenerse en dos formas diferentes: La fuente del diseño de SN que se usa para comparación con el SN calculado se especifica en el cuadro *Design SN Source*. Presionando la flecha hacia abajo o cualquier lugar en este cuadro presenta las posibilidades para el *User Specified SN (SN especificado por el usuario)* o *Flex Module SN*

(*SN Módulo Flexible*) (el valor obtenido del programa de diseño). El SN especificado por el usuario sobrepasa el resultado del proceso de diseño y permite desarrollar el diseño de espesores directamente desde esta ventana sin pasar a través del cálculo de SN.

Diseño de SN

El SN de Diseño es el número estructural total del pavimento que usted está tratando de alcanzar o exceder en el proceso de diseño de espesores. Este cuadro está sombreado, si se escoge *Flex Module SN*, en el cuadro *Design SN Source* si se selecciona *Use Specified SN* el valor de diseño de SN se introduce aquí.

SN Calculado

El SN Calculado es el SN global del pavimento, obtenido al sumar los SN individuales de cada una de las capas estructurales.

Validación del Diseño

El propósito del diseño de espesores es el de obtener una estructura de pavimento que cumpla con los requerimientos estructurales de diseño. Para pavimentos flexibles, esto se logra cuando el SN calculado (el SN obtenido de sumar los productos de los coeficientes de capas, espesores de diseño y coeficientes de drenaje para cada capa) es mayor o igual que el SN de diseño (ya sea introducido directamente o calculado de los datos de diseño de SN). En cualquier momento que el botón *Calculate* se presiona, DARWIN compara el SN de diseño y el SN calculado. El mensaje “Design is OK” aparece al lado del botón de cálculo cuando el SN calculado es mayor o igual que el SN de diseño. “Design is Ineffective” aparece cuando el SN calculado es menor que el SN de diseño. el símbolo $\leq$ ó $\geq$ también aparece entre el *Design SN* y el *Calculated SN* para indicar su relación.

Selección de Material

Presionando el botón de materiales, se provee acceso a la *Biblioteca Darwin*. Una vez adentro de la Biblioteca, los materiales que han sido grabados y definidos previamente pueden ser usados en el diseño actual. Más información de la Biblioteca Darwin está disponible en el capítulo titulado *La Biblioteca Darwin*.

Método de Diseño Especificado de Espesores

En este método, el usuario proporciona todos los datos para cada capa y DARWIN calcula la contribución del SN de cada capa individual y de toda la estructural. Este procedimiento es apropiado para afinar los diseños de los espesores obtenidos en cualquier lugar, ya sea con el Análisis por Capas o con el método de Diseño Optimizado.

Espesores

El espesor de cualquier capa de estructura de pavimento flexible se designa con (d_i). En el método de *Diseño Especificado de Espesores*, este valor es proporcionado por el usuario. Determinar los espesores apropiados para cada capa es difícil. Los factores a considerar incluyen la protección de las capas inferiores de las cargas y las influencias del medio ambiente, resistencia de las capas para las deformaciones permanentes y falla por fatiga, y provisión de suficiente estructura para aislar capas que son susceptibles de penetración de helas.

Número Estructural

El número estructural mostrado en la columna sombreada es el número estructural calculado de la capa dada. El SN de una capa cualquiera (SN_i) es el producto de los coeficientes estructurales de la capa, coeficientes de drenaje y espesores. Los valores mostrados en esta columna dan una indicación de la contribución de cada capa a la estructura global.

Espesores Para Igualar el SN de Diseño

En el Método de *Diseño Especificado de Espesores* el diseñador irá a través de un proceso de prueba y error para llegar a un diseño final. En este tipo de proceso iterativo, el valor que aparece en esta columna para cada capa después de que se presiona el botón *Calculate* representa el espesor que podría introducirse para esa capa particular de modo de realizar el SN de diseño igual al SN calculado. Esta información se provee solamente como una ayuda en el proceso de diseño y no como una sugerencia de que capas requieren una estructura adicional. Los usuarios observarán que cuando el SN calculado es mayor que el SN de diseño, todos los valores en esta columna serán menos que los valores actuales de espesores introducidos.

Método de Diseño Optimizado de Espesores

En este método, los espesores de capas son seleccionados basados en las restricciones designadas por el usuario. Los datos requeridos en adición a los coeficientes estructurales y coeficientes de drenaje incluyen el costo unitario de los materiales de las capas, espesores mínimos y máximos y un número estructural. La solución es el mínimo costo de diseño basado en los datos y las restricciones provistas por el diseñador y se obtiene a través del uso de técnicas de programación lineal, como aquellas descritas en “Optimal Flexible Pavement Design” por A. García-Díaz y J.S. Liebman, *Transportation Engineering Journal of the ASCE*, Volumen 104, No. TE3 Mayo 1978.

Costo.

La rutina de optimización usada para diseñar espesores de capas, resuelve para el costo mínimo de estructura de pavimento, sujeta a ciertas restricciones. Para seleccionar el espesor óptimo para cada capa en el sistema del pavimento, se requiere un costo unitario para cada material. Este costo es expresado en la unidad monetaria seleccionada (ej. dólares) por metro cuadrado - milímetro (yarda cuadrada - pulgada). Un “metro cuadrado - milímetro” es un volumen de material que cubre un metro cuadrado de un espesor de un milímetro. Para convertir de costos por tonelada a costos por metro cuadrado - milímetro (yarda cuadrada - pulgada), use la siguiente fórmula:

$$$/\text{ton. Métrica} = \$/1000\text{kg} * \text{densidad (kg/m}^3) * 1\text{m}^3 / 1000\text{m}^2 \text{ mm}$$

$$$/\text{ton} = \$/2000\text{lbs} * \text{densidad (lb/pe}^3) * 27\text{pe}^3 / 1\text{yarda}^3 * 1\text{yarda}^3 / 36\text{yarda}^2 \text{pg}$$

Note que se requiere la densidad del material.

Espesor Mínimo

El espesor mínimo puede ser especificado para una capa de modo de satisfacer las restricciones del usuario o la agencia. Estas restricciones pueden ser el resultado de una política de diseño, consideraciones constructivas o experiencia.

Espesor Máximo

Las restricciones para un espesor máximo pueden ser colocadas en una o en todas las capas. Por ejemplo, si una agencia no construye superficies de concreto asfáltico mayores que

150mm (6in), eso puede especificarse como un dato de entrada. Un espesor máximo podría ser especificado por otras razones, como ser: constructivas, aperturas, costo o para evitar ahuellamientos. Si se calcula un espesor de una capa mayor que el máximo especificado, se seleccionará el espesor máximo especificado.

Espesor Óptimo

La rutina de optimización resuelve para espesores de capas sujetos a las restricciones de espesores de capas, materiales y costos de materiales provistos por el diseñador. Optimiza al incrementar el espesor de la capa menos costosa en términos del beneficio que provee (SN/costo). El espesor resultante para cada capa, mostrado en esta columna sombreada, son considerados espesores óptimos porque ellos representan la solución óptima los datos provistos. Debe notarse que el término “óptimo” no se usa en el sentido de diseño pero en el sentido de proveer una solución matemática al problema. Se anima fuertemente al usuario a comparar diseños obtenidos por este método con los diseños de otros métodos.

Número Estructural

El número estructural calculado para cada capa se muestra usando el espesor óptimo que ha sido calculado y los datos del coeficiente de la capa estructural y coeficiente de drenaje.

Costo Calculado

El costo calculado de la capa es el producto del espesor óptimo calculado para cada capa y el costo introducido por el usuario. Estos costos calculados entonces se suman para llegar a un costo para el diseño por metro cuadrado (yarda cuadrada).

Visualizando Resultados de Diseño de Pavimentos Flexibles

En el módulo de *Diseño de Pavimento Flexible*, los comandos disponibles del menú de visualización incluyen *Unit System (Sistema de Unidades)*, *Cross Section (Sección Transversal)* y *Sensitivity Plot (Gráfico de Sensibilidad)* que son características que se convierten en disponibles una vez que se selecciona un módulo. *Toolbar (Barra de*

Herramientas) es una característica que coloca u oculta la barra de herramientas en la parte superior de la pantalla.

Sistema de Unidades

DARWIN 3.0 soporta la visualización de los cálculos en ambos sistemas de unidades métrico e inglés. A pesar de que el método actual de cálculo sobre el cual se basa la visualización se determina cuando se crea un proyecto (o archivo) , las unidades en las que se muestra pueden cambiarse al seleccionar *Unit System* del menú *View* y seleccionando ya sea la opción *Metric* o *English*. Esta opción puede cambiarse en cualquier momento durante el uso de los módulos.

Sensitivity Plot (Gráfico de Sensibilidad)

La característica del gráfico de sensibilidad provee una pantalla gráfica mostrando el efecto de los resultados calculados en varios de los datos primarios de la ecuación de diseño estructural. El gráfico terminado puede también ser exportado a una impresora.

Se realizan decisiones acerca de la apariencia del gráfico en el cuadro de diálogo *Analysis Properties*. Los datos direcciona la apariencia general del resultado y los parámetros específicos de entrada y su rangos se plotean.

General

El cuadro *General* controla la apariencia del gráfico. El título del gráfico y los títulos de los ejes x e y son controlados por el usuario y se introducen aquí. Texto introducido aparecerá en ambos el monitor y el resultado de impresión. Para incluir rejillas del gráfico, presione el cuadro de selección y una rejilla será mostrada. El segundo cuadro de selección es para orientar el eje Y verticalmente. Esto debe usarse para títulos en el eje y que son más largos que unos caracteres, de lo contrario el título se imprimirá en el área del gráfico.

Los botones *Apply* y *OK* trabajan en la misma forma en *Sensitivity Plot* que en *Cross Section*. Presionando *Apply* le permite ver los cambios en el gráfico mientras usted trabaja en él, mientras que *OK* crea la vista final que puede ser imprimida o guardada.

Ranges (Rangos)

El cuadro *Ranges* controla el análisis de sensibilidad que se va a graficar y sobre qué rango. El cuadro de lista muestra las posibilidades disponibles para análisis de sensibilidad. Estos corresponden a los datos primarios requeridos para calcular el número estructural. Ilumine una de estas posibilidades y entonces especifique los límites, superior e inferior sobre los cuales usted desea realizar el análisis de sensibilidad. DARWIN por defecto coloca rangos disponibles para la introducción como valores superiores e inferiores para el gráfico.

Scale (Escala)

Los datos de entrada (eje x) y los de salida (eje y) se controlan por un conjunto de botones radiales en los cuales las posibilidades son: *None (Ninguno)*, *1000x* y *10000000x*. Si se selecciona *None*, las escalas reflejan los valores como datos o resultados. Sin embargo, muchos números de ejes serán muy grandes para mostrarlos bien en esta elección. Se incluyen escalas *1000x* y *10000000x*, seleccionando una de estas escalas, se cambia los valores mostrados en el eje. Por ejemplo si los ejes equivalentes se muestran desde 10,000,000 hasta 100,000,000, al escoger el botón radial *10000000x* se ocasiona que los títulos del eje varíen de 10 a 100.

El resultado del análisis de sensibilidad es una presentación gráfica. La línea sólida negra muestra la relación entre una variación en los datos seleccionados y los resultados calculados. La línea roja punteada muestra los datos actuales y resultados que se muestran el cuadro de diálogo primario. Los íconos en la barra de herramientas pueden usarse para copiar este cuadro, imprimirlo, guardarlo en un archivo o para aprender más acerca de las propiedades del gráfico.

4.1.4.-PROGRAMA DEPAV

El Depav es un software de diseño estructural de pavimentos, este programa fue elaborado en el instituto de de Vías de la universidad del cauca por los ingenieros Alfonso Muergueitio valencia, Carlos Alberto Benavides, Efraín de J. Solano.

El programa Depav calcula los esfuerzos y las deformaciones máximas que una rueda doble colocada en la superficie produce en los niveles de interface de un Sistema Elástico Multicapa, constituidos de dos (2) a seis (6) capas, caracterizadas por el espesor, Modulo de elasticidad y la Relación de Poisson.

Además calcula la Deflexión y el radio de curvatura al centro de la Rueda Doble.

4.2.- PARAMETROS Y/ O VARIABLES QUE INTERVIENEN EN CADA PROGRAMA

PARAMETROS:

DARWIN

- Calculo de 80kn Esals
- Serviciabilidad inicial
- Serviciabilidad final
- Nivel de reability
- Desviación estándar
- Modulo resiliente
- Numero de etapas de construcción
- Numero de diseño estructural

Parámetros del Depav.

- Radio de carga (cm)
- Presión de contacto (kg/ cm^2)
- Distancia entre llantas (cm)
- Modulo de Elasticidad [E] (kg/cm^2)
- Relación de Poisson [μ]
- Espesor de Capa [H] (cm)

4.3.- EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LOS PROGRAMAS EN UN PROYECTO:

4.4.- Especificación de cada parámetro para el Darwin del ejemplo Puerta el Chaco - Canaletas

Criterios de adopción de serviciabilidad:

La serviciabilidad de un pavimento se define como la capacidad de server al tipo de transito para el cual ha sido diseñado. Así se tiene un índice de serviciabilidad presente PSI (present serviciability index) mediante el cual el pavimento es calificado entre 0= (pésimas condiciones) y 5 (perfecto). En el diseño de pavimento se debe elegir la serviciabilidad inicial y final. La inicial, P_0 es función del diseño del pavimento y de la calidad de construcción. La final o terminal, P_t es función de la categoría del camino es adoptada en base a esta y el criterio del proyectista. Los valores recomendados son:

Servicialbilidad inicial

$P_0=4.5$ para pavimentos rígidos

$P_0=4.2$ para pavimentos flexibles

Serviciabilidad final

$P_t=2.5$ o más caminos importantes

$P_t = 2.0$ para caminos de menor transito

Para el proyecto de puerta el Chaco- Canaletas se tomo:

$P_0=4.2$ como es pavimento flexible

$P_t=2.5$ como es camino de importancia para la comunicación del departamento

REABILITY NEVEL:

Esto es el nivel de confiabilidad que se da un proyecto para ello se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones.

Nivel de confianza

La inclusión de un dato de confianza en el proceso de diseño de pavimentos es una medida de la marcada variabilidad. Como se define por la Guía de Diseño AASHTO, la confianza (R) es la probabilidad (expresada como porcentaje) de que una estructura de pavimento

sobreviva al tráfico del período de diseño. Generalmente, a medida que los volúmenes de tráfico se incrementan, las consecuencias de la falla prematura del pavimento se incrementan dramáticamente. Por tanto, las rutas de alto volumen de tráfico deben ser construidas con un mayor nivel de confianza que las carreteras con bajo volumen de tráfico. Las recomendaciones AASHTO para la selección de los valores de confianza son:

Valores de Confianza

Clasificación Funcional	Urbana	Rural
Interestatal y Otras Autopistas	85.0 - 99.9	80.0 - 99.9
Arterias Principales	80.0 - 99.0	75.0 - 95.0
Coletores	80.0 - 95.0	75.0 - 95.0
Local	50.0 - 80.0	50.0 - 80.0

Fuente: Manual de la AASHTO para diseño de carreteras

Para el proyecto se tiene que la confiabilidad es de un **85%** de acuerdo con la tabla

Over standard deviation:

Desviación standard (So):

Factor que toma en cuenta los errores o variabilidad asociados con el diseño y los datos de construcción, incluyendo la variabilidad en las propiedades de los materiales del suelo, estimaciones de tráfico, condiciones climáticas y calidad de construcción.

Si existe gran confiabilidad en los datos de tráfico se recomienda **0.44**, de no ser así, **0.49**

Desviación estándar global

NO se ha considerado **0.44 Flexible**

la variación en el tráfico futuro **0.34 Rígido**

SI se ha considerado **0.49 Flexible**

la variación en el tráfico futuro **0.39 Rígido**

Valores basados en el análisis de la varianza del AASHTO road test y predicciones de tráfico futuro.

Para el proyecto si se considero el trafico futuro **0.49**

Módulo Resiliente:

Como en nuestro medio no se hace ensayo de modulo resiliente se hace una correlación con el CBR

- $M_R (\text{psi}) = 1,500 * \text{CBR} \quad (\text{suelos finos}) \quad (\text{CBR} < 10)$

- $M_R (\text{psi}) = 4326 * \ln (\text{CBR}) + 241 \quad (\text{granulares})$

El CBR debe corresponder a la densidad esperada en sitio.

Fórmulas utilizadas en Chile

$$M_R (\text{MPa}) = 17.6 * \text{CBR}^{0.64} \quad (\text{CBR} < 12)$$

- $M_R (\text{MPa}) = 22.1 * \text{CBR}^{0.55} \quad (12 < \text{CBR} < 80)$

Como el CBR es de 10%

$$M_r = 1500 * 10 = 15000$$

Stage construcción (etapa de construcción):

Por lo general esto es uno o dos de acuerdo a las etapas de construcción o para el proyecto se tomó **1** como etapa de construcción

COEFICIENTES:

Los coeficientes de drenaje y estructurales de cada capa. Los coeficientes estructurales y de drenaje de cada capa se pueden ver en el Cuadro N° 13.

Cuadro N°13

Coeficientes de Drenaje y Estructurales de las Capas

<i>Material</i>	<i>CBR</i>	<i>a_i</i>	<i>m_i</i>
<i>Carpeta Asfáltica</i>	-	<i>0.43</i>	<i>1</i>
<i>Tratamiento S. Simple</i>	-	<i>0</i>	<i>1</i>
<i>Base Granular Triturada</i>	<i>80%</i>	<i>0.13</i>	<i>1</i>
<i>Sub-base Granular</i>	<i>40%</i>	<i>0.11</i>	<i>0.95</i>

Fuente: AASHTO Design Guide, Part I, Section 1.8. Part II, Section 2.3. Part II, Section 2.4

Cada coeficiente es determinado según las figuras siguientes.

Figura N° 4

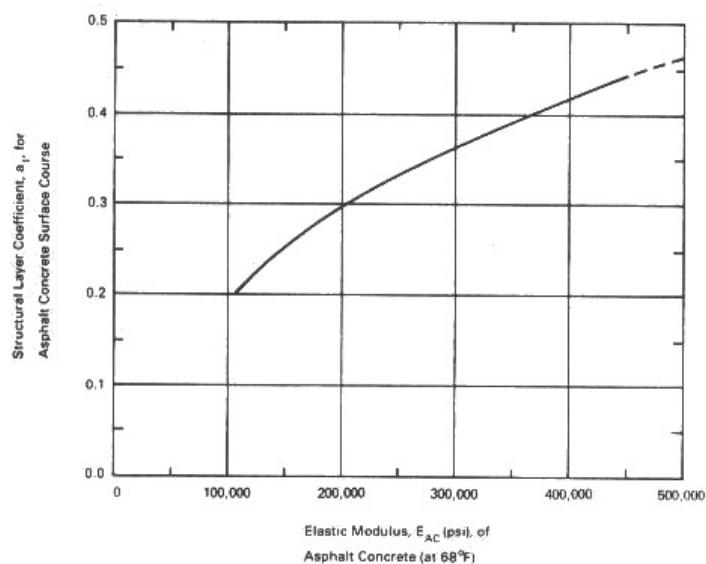


Figure 2.5. Chart for Estimating Structural Layer Coefficient of Dense-Graded Asphalt Concrete Based on the Elastic (Resilient) Modulus (3)

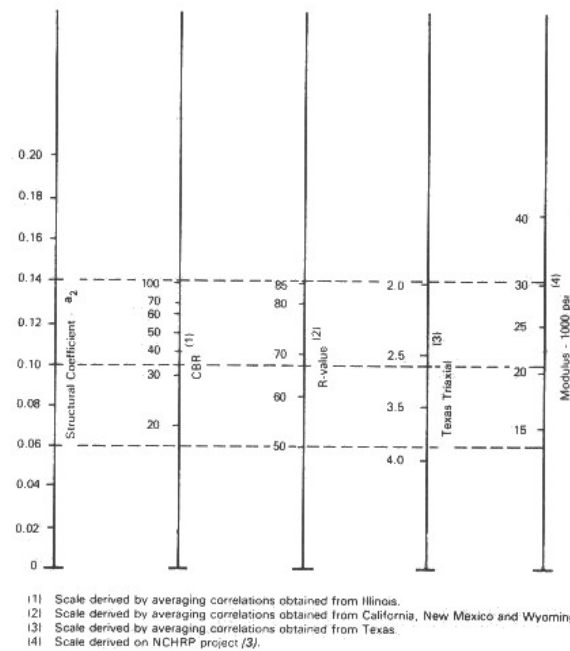


Figure 2.6. Variation in Granular Base Layer Coefficient (a_2) with Various Base Strength Parameters (3)

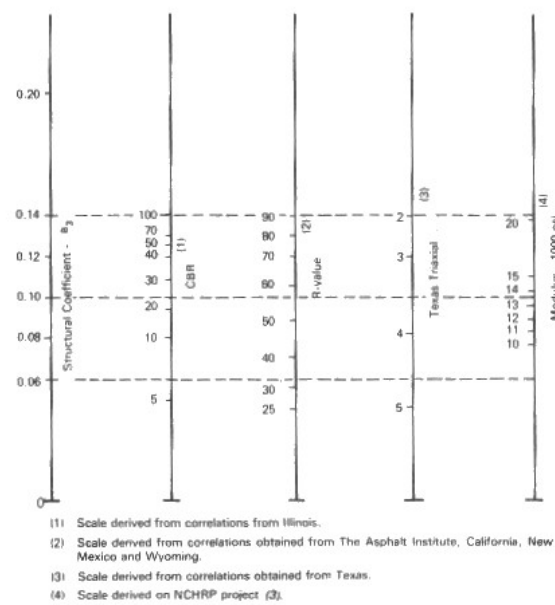


Figure 2.7. Variation in Granular Subbase Layer Coefficient (a_3) with Various Subbase Strength Parameters (3)

DETALLE DE LOS ELEMENTOS UTILIZADOS EN CADA UNO DE LOS PARÁMETROS DARWIN

Del **párrafo 8.2.5 Criterios de adopción de niveles de serviciabilidad** página 160 de la guía para **Diseño de Pavimentos AASHTO- 97** se tiene:

Serviciabilidad inicial

$P_0=4.5$ para pavimentos rígidos

$P_0=4.2$ para pavimentos flexibles

Serviciabilidad final

$P_t=2.5$ o más para caminos importantes

$P_t=2.0$ para caminos de menor tránsito

La serviciabilidad inicial será de **$P_0 = 4.2$ para carreteras con alto grado de control de construcción** según la guía AAshto.

La serviciabilidad final será **$P_t= 2.5$ para caminos muy importantes** según la guía AASHTO

La confiabilidad será **85** por ser una arteria principal rural Abaco de la **tabla 6.4** de la guía de Diseño de Pavimentos Flexible AASHTO 97 página 123

Tabla 6.4

Clasificación Funciona	Urbana	Rural
Interestatal y Otras Autopistas	85.0 - 99.9	80.0 - 99.9
Arterias Principales	80.0 - 99.0	75.0 - 95.0
Colectores	80.0 - 95.0	75.0 - 95.0
Local	50.0 - 80.0	50.0 - 80.0

Desviación Estándar Global

NO se ha considerado	0.44Flexible
la variación en el tráfico futuro	0.34 Rígido
SI se ha considerado	0.49Flexible
la variación en el tráfico futuro	0.39 Rígido

Estos Valores basados en el análisis de la varianza del AASHTO road test y predicciones de tráfico futuro página 108.

Desviación estándar como **se considero el crecimiento de trafico futuro $S_0=0.49$.**

Modulo resiliente.

Dado que no siempre se tienen equipamientos para ejecutar un ensayo de modulo resiliente es conveniente relacionarlo con otras propiedades de los materiales, por ejemplo con respecto a CBR

Para modulo Resiliente se hizo una correlación con el CBR usando esta formula

$M_r = 1500 \cdot CBR$ Ecuación (4.12) del libro Diseño de Pavimentos ASSHTO 97 subtítulo (**correlación entre distintas variables de resistencia y modulo resiliente**) pág. 74

$M_r = 1500 \cdot CBR = 1500 \cdot 7.445 = 11160 \text{ Psi}$

Los coeficientes de capa (a_i) se obtienen de ábacos la Guía de Diseño de pavimentos ASSHTO -97 párrafos **5.4.1 coeficientes de capa** página 103-104.

Coeficientes de drenaje (m_i) estos valores se los obtiene la guía de Diseño de pavimentos AASHTO -97 párrafo **7.6.3 consideraciones de drenaje en el diseño de pavimentos** en la tabla 7.1 página 136

	A_i	M_i
carpeta asfáltica	0,44	1
Base	0,14	1,27
sub base	0,12	1,27
Sub-rasante		

**DISEÑO DE LA CARRETERA
PUERTA DEL CHACO -
VILLAMONTES**

CALCULO DE ESALS

**Determinación de Ejes Equivalentes, C1 - Puerta del Chaco -
Canaletas
Pavimento de Asfalto - 20 años**

FORMULAS	Composición de Tráfico Vehicular	1	2	3	4	5	6	7	8
	Tipos de Vehículos	Livianos	Utilitarios		Buses	Camión Pequeño	Camión Mediano	Camión Grande	Articula
IV=+III	Factores Equivalentes Vehiculares	0,00016	0,06056	0,00000	1,13340	0,00000	1,22717	1,43996	3,4
V=I*365	Total Vehículos	1.456.715	1.497.595	0	1.138.800	0	1.619.140	1.542.490	105
VI=IV*V	Ejes Acumulados	226	90.697	0	1.290.719	0	1.986.953	2.221.126	368

Tráfico en el carril de diseño (ESALS): 50% (Dos Carriles)

**DISEÑO DE LA CARRETERA
PUERTA DEL CHACO -
VILLAMONTES**

**Determinación del Número Acumulado de Vehículos, C1 - Puerta del Chaco -
Canaletas**

	1	2	3	4	5	6	7	8
Tipos de Vehículos	Livianos	Utilitarios		Buses	Camión Pequeño	Camión Mediano	Camión Grande	Articulados
2006	111	114	0	87	0	134	127	9
2007	118	121	0	92	0	141	134	9
2008	125	129	0	98	0	149	142	10
2009	133	136	0	104	0	157	150	10
2010	141	145	0	110	0	166	158	11
2011	150	154	0	117	0	175	167	11
2012	160	163	0	124	0	185	177	12
2013	169	174	0	132	0	196	186	13
2014	180	184	0	140	0	207	197	13
2015	191	196	0	149	0	218	208	14
2016	201	206	0	156	0	227	216	15
2017	211	216	0	164	0	235	224	15
2018	221	227	0	172	0	245	233	16
2019	232	238	0	181	0	254	242	17
2020	244	250	0	190	0	264	252	17
2021	256	262	0	200	0	274	261	18
2022	269	276	0	210	0	285	272	19
2023	282	289	0	220	0	296	282	19
2024	286	304	0	231	0	308	293	20
2025	311	319	0	243	0	320	305	21
Suma Total	3991	4103	0	3120	0	4436	4226	289
Porcentaje	19,78	20,34	0,00	15,46	0,00	21,99	20,95	1,43

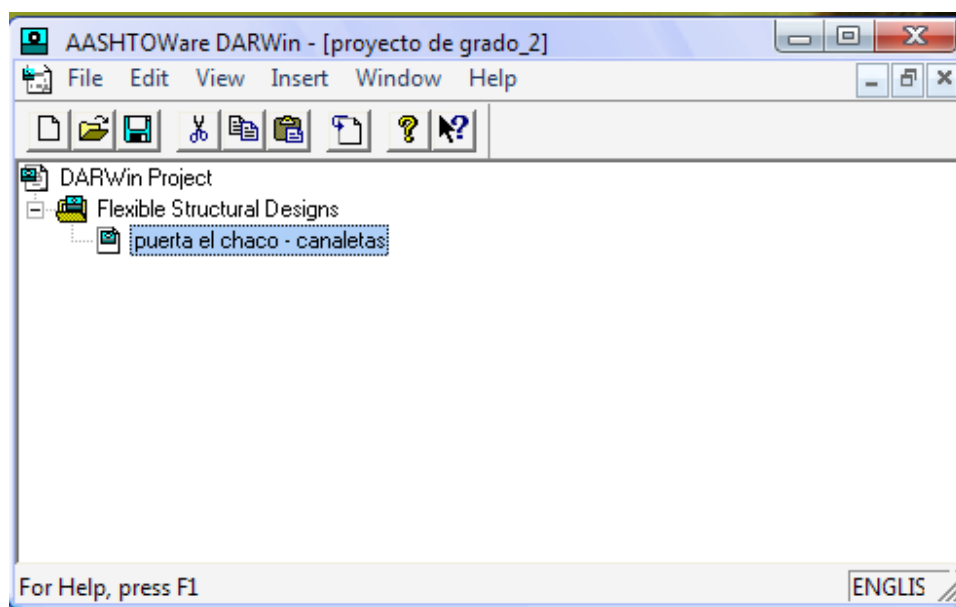
DISEÑO DE ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE TRAMO PUERTA EL CHACO - CANALETAS

PROGRAMA UTILISADO DARWIN:

DATOS:

18-Kip Esals over initial perfomance Period=	2978985
Incial servility=	4.2
Terminal Servility=	2.5
Reliability level =	85%
Over standard deviation=	0.49
Roadbed soil resilient modulus=	11167.901psi
Stage construction=	1

Calculo de número estructural S_n



AASHTOWare DARWin - puerta el chaco canaletas

File Edit View Calculate Design Options Window Help

puerta el chaco canaletas

puerta el chaco canaletas - Puerta el chaco-Canaleta

Description:
Proyecto puerta el Chaco-Canaletas

18-kip ESALs Over Initial Performance Period	2,978,985	...
Initial Serviceability	4.2	
Terminal Serviceability	2.5	
Reliability Level (%)	85	
Overall Standard Deviation	0.49	
Roadbed Soil Resilient Modulus	11,167.9014208	... psi
Number of Construction Stage	1	÷
Design Structural Number	3.48	in

 Use the File menu to create or open a project ENG

Numero estructural de diseño $S_n = 3.48$

DISEÑO ANÁLISIS DE ESPESOR POR CAPA

Thickness Designs

Layered | Specified | Optimized

Layer	Material Description	Struct Coeff. (Ai)	Drain Coeff. (Mi)	Spec Thick (Di) (in)	Min. Thick. (in)	Elastic Modulus (psi)	One Dir Width (ft)	Thick. (in)	SN (in)
1	Carpeta asfaltica	0.44	1			450,000		5.41	2.38
2	capa Base	0.14	1.27			30,000		4.10	0.73
3	Capa Sub-Base	0.12	1.27			15,000		2.44	0.37

Precision: Actual in Thickness Sum: 11.95

Design SN Source: Flex Design SN Design SN: 3.48 (in) Calculated SN: 3.48 (in) Design is OK.

OK Cancel Clear Materials...

En el diseño análisis por capa el diseño nos cumple pero nos da espesores de capa que hacen que el SN calculado este al límite (numero estructural de diseño 3.48 y numero estructural calculado **3.48** y los espesores están limitados a restricciones económicas donde nos da una espesor de carpeta asfáltica de **13.47** cm y capa Base **10.41** y sub base de 6 cm.

ESPECIFICANDO LA CAPAS DE DISEÑO SPECIFIED LAYER DESIGNS

Thickness Designs

Layered Specified Optimized

Layer	Material Description	Struct. Coeff. (Ai)	Drain Coeff. (Mi)	Thick. (Di) (in)	One Direct. Width (ft)	Structural Number (in)	Thickness to match Design SN (in)
1	Carpeta asfáltica	0.44	1	2.36		1.04	2.32
2	Capa Base	0.14	1.27	7.09		1.26	6.99
3	Capa Sub-Base	0.12	1.27	7.87		1.20	7.75

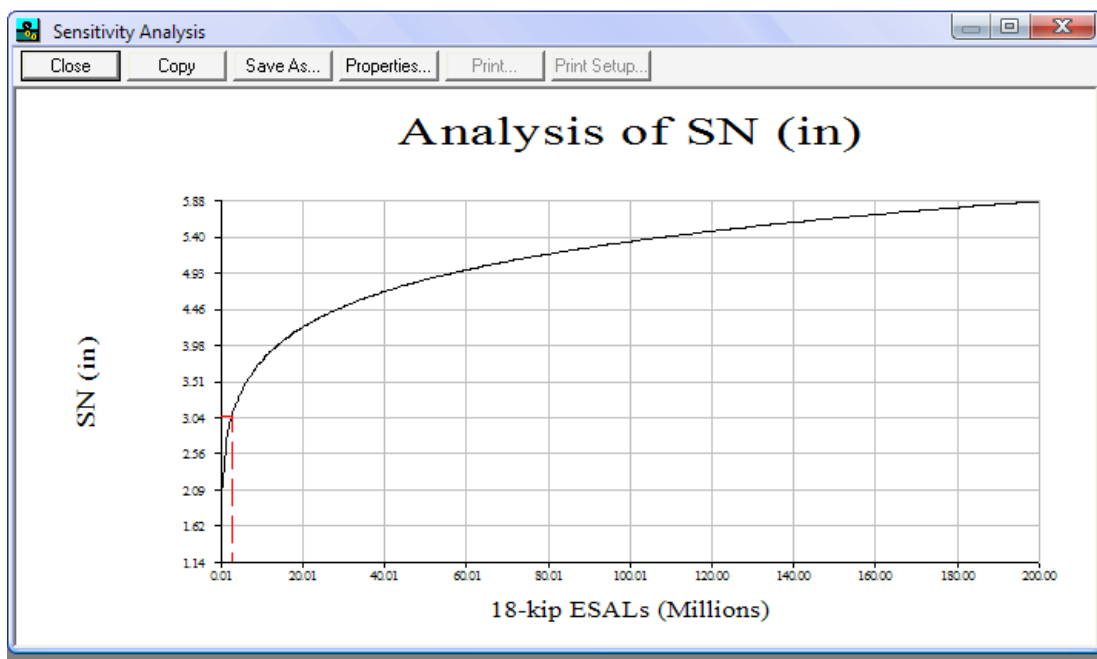
Thickness Sum 17.32

Design SN Source Design SN Calculated SN

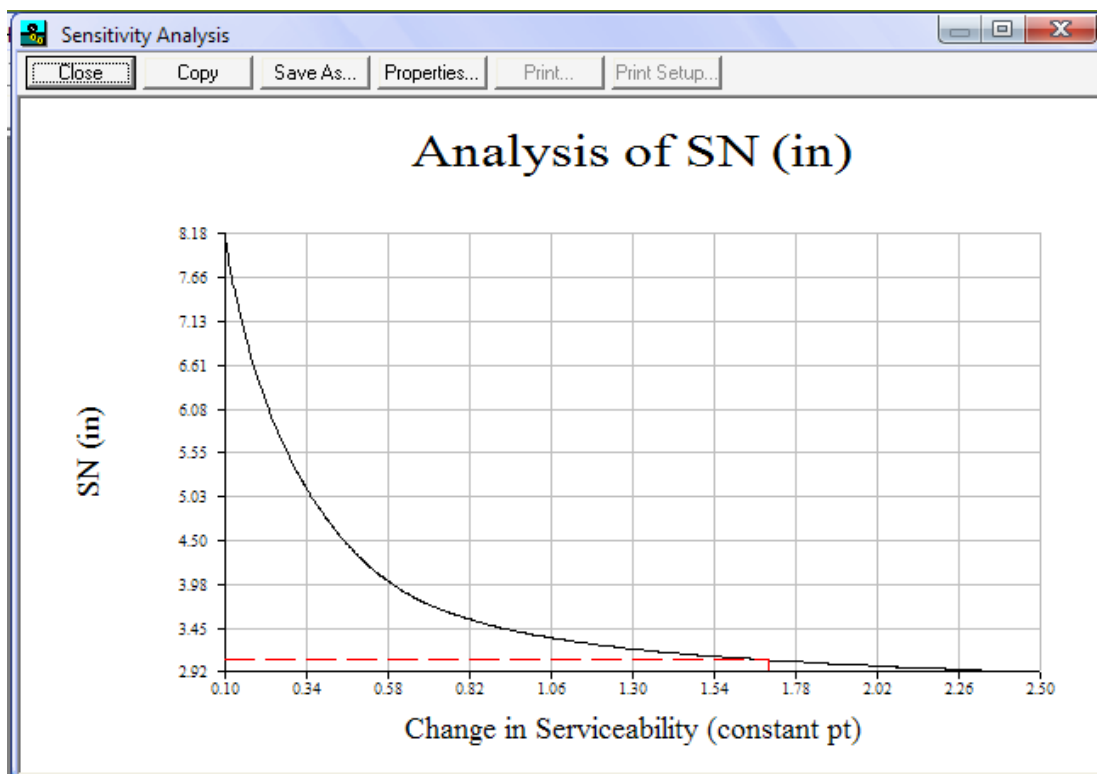
☒ Flex Design SN 3.48 (in) <= 3.50 (in) Design is OK.

OK Cancel Clear Materials...

Gráfica de 18-Esals vs Sn



Gráfica serviciabilidad final vs Sn



4.5.-DEPAV

Modelación mecanicista de un pavimento flexible.

Existen en general dos clases de estructuras de pavimento, los flexibles y los rígidos; la principal diferencia entre estos es la forma como reparten las cargas. Desde el punto de vista de diseño, los pavimentos flexibles están formados por una serie de capas y la distribución de la carga está determinada por las características propias del sistema de capas. Los rígidos tienen un gran módulo de elasticidad y distribuyen las cargas sobre un área grande, la consideración más importante es la resistencia estructural del concreto hidráulico.



Figura 1. Distribución de carga característica de un Pavimento rígido versus uno flexible

Una buena forma de caracterizar el comportamiento de un pavimento flexible bajo la acción de cargas de ruedas, es considerarlo como un semiespacio homogéneo; este tiene un área infinita y una profundidad infinita con una carpeta delgada encima donde son aplicadas las cargas.

Como un primer análisis para determinar la distribución de esfuerzos en un pavimento se aplicó el modelo propuesto por el matemático francés Boussinesq en 1885, estado de esfuerzos en una masa de suelo a cualquier profundidad; el estudio del matemático se basó en una carga concentrada aplicada en un semiespacio lineal, elástico, isótropo y homogéneo; los esfuerzos, deformaciones y deflexiones debidos a la carga concentrada pueden ser extrapolados para obtener aquellas debidas a una área circular cargada. Esta solución fue por mucho tiempo la única disponible, hasta que en 1945 Donald M. Burmister propuso una teoría que se podía aplicar a estructuras de pavimentos, basada en la de Boussinesq pero que tenía en cuenta estratos y las propiedades mecánicas de los materiales que conforman la masa de suelo, para calcular el estado de esfuerzos de ésta a cualquier profundidad. Desde el punto de vista del estudio de pavimentos, el modelo de Burmister puede ser usado para determinar los esfuerzos, deformaciones y deflexiones en la sub-rasante si la relación de módulos del pavimento y la sub-rasante es cercana a la unidad,

si no es así, la modelación es más compleja. Analíticamente es un procedimiento más complejo que los basados en el primer modelo, que se podía solucionar con ecuaciones relativamente fáciles; el modelo de Burmister introduce transformadas de Fourier que requieren funciones de Basel para su solución y que sin la ayuda de un programa de computador no se pueden modelar estructuras de más de dos capas. La generalización del modelo a estructuras multicapa con diferentes condiciones de frontera fue propuesta por Westergaard, Palmer y Barber, Odemark y otros; estos modelos describen el funcionamiento del sistema en el cual, la presión ejercida por una rueda (q) puede ser muy alta para ser soportada por el suelo natural; la estructura del pavimento reparte la carga para llevarla lo más reducida posible a la sub-rasante que es la fundación del pavimento; entonces la solución al problema consiste en determinar a una profundidad z que cantidad de esfuerzo se ha disipado.

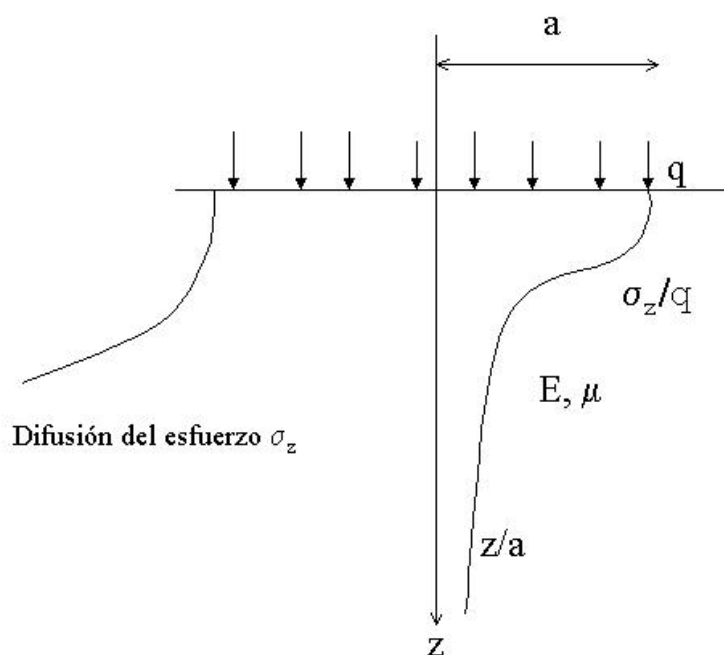


Figura 2. Modelo de Boussinesq

La modelación de la solución inicial basada en la teoría de Boussinesq se muestra en la figura 2. La ecuación general para determinar la distribución de esfuerzos de es la siguiente:

$$\sigma_z = q \left| 1 - \frac{(z/a)^3}{[1 + (z^2/a^2)^{3/2}]} \right|$$

Donde,

σ_z : es el esfuerzo vertical a cualquier profundidad.

q: es la presión de la carga.

a: es el radio de la carga de huella circular.

Se supone un comportamiento lineal entre los esfuerzos y deformaciones, lo que indica que se acepta que los materiales trabajan dentro de su rango elástico; sin embargo, la reología de los materiales asfálticos demuestra que su comportamiento es viscoelástico, función del estado de esfuerzos, del tiempo de aplicación de las cargas y de la temperatura; de la misma manera los materiales granulares responden a las cargas, de acuerdo al nivel de esfuerzos aplicados, a su densidad y humedad, en general su comportamiento no es lineal y depende en gran medida de las características del material de la capa subyacente; en este sentido existen modelos teóricos elásticos no lineales (Boyce 1980).

Fatiga en los materiales del pavimento

En todos los métodos de diseño de pavimentos se acepta que durante la vida útil de la estructura se pueden producir dos tipos de fallas, la funcional y la estructural. La falla funcional se deja ver cuando el pavimento no brinda un paso seguro sobre él, de tal forma que no transporta cómoda y seguramente a los vehículos. La falla estructural está asociada con la pérdida de cohesión de algunas o todas las capas del pavimento de tal forma que éste no puede soportar las cargas a la que está sometido. No necesariamente las dos fallas se producen al tiempo; en este caso se hará referencia a la falla estructural. La falla estructural en un pavimento se presenta cuando los materiales que conforman la estructura, al ser sometida a repeticiones de carga por acción del tránsito, sufren un agrietamiento estructural relacionado con la deformación o la tensión horizontal por tracción en la base de cada capa; en este sentido la falla relaciona la deformación o la

tensión producida con el número de repeticiones admisibles; esto se denomina falla por fatiga o sea por repeticiones de carga. Estos fenómenos que se producen en el pavimento durante su funcionamiento, pueden ser modelados en el laboratorio haciéndose los llamados ensayos de fatiga; el agrietamiento que se produce en los materiales cuando se hacen las pruebas de laboratorio sobre las muestras de materiales o a escala natural, se asocia con la respuesta resiliente (recuperable) del pavimento ante las cargas dinámicas; en estos ensayos se ha determinado que las grietas se propagan de la base de cada capa hacia arriba.

Los materiales que forman parte de la estructura se consideran homogéneos e isotrópicos y se supone que las capas tienen una extensión infinita en sentido horizontal. En esta metodología se considera la estructura de pavimento como un sistema linealmente elástico, en el cual los materiales se encuentran caracterizados por:

1. Módulos elásticos (E).
2. Relación de Poisson (μ).
3. El espesor de la capa (h).

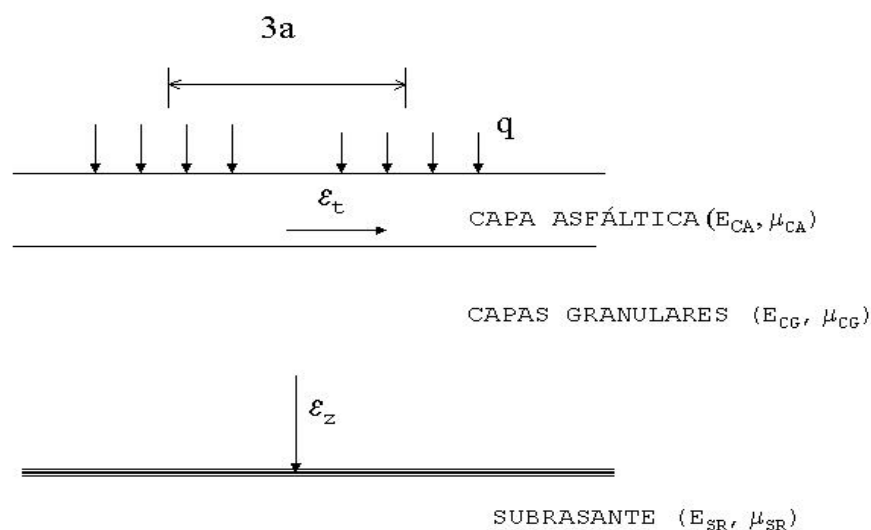


Figura 3. Estructura multicapa de un pavimento flexible.

En la figura 3 se puede observar un modelo multicapa en el que se supone la capa inferior (sub-rasante) infinita en el sentido vertical, la capa intermedia representa las capas granulares y la capa superior representa los materiales bituminosos. La apropiada caracterización de los materiales constituye un aspecto de gran importancia en el diseño racional de pavimentos; sobre este tema se debe hacer mucha más investigación de la que existe hasta el momento en nuestro medio; las propiedades de los materiales se pueden obtener de varias maneras:

1. Ensayos de laboratorio combinados con ensayos no destructivos.
2. Estimación o uso de nomogramas con correlaciones estadísticas.
3. Comparación con materiales "estándar" de características similares.
4. Medición "in situ" basándose en ensayos no destructivos.

Como se considera que los materiales que conforman la estructura durante su vida útil están trabajando dentro del rango elástico, entonces la fatiga de estos es causada por repeticiones de carga (N) impuestas por el tránsito. Por consiguiente, el comportamiento a la fatiga para las capas que conforman el pavimento se presenta normalmente como una relación entre las repeticiones de carga y la deformación. Entonces el pavimento flexible puede fallar de dos maneras

1. Que la deformación horizontal por tracción ϵ_t en la fibra inferior de las capas asfálticas, al flexionar ellas bajo la acción de las cargas, supere cierto límite admisible, en este caso se producirá agrietamiento en dichas capas.
2. Que la deformación vertical ϵ_z por compresión de la sub-rasante supere el límite admitido por ella, caso en el cual se presenta una deformación permanente y por consiguiente la del pavimento, en este caso se producirá σ ahuellamiento. Además se puede verificar que ϵ_z se mantenga dentro de los límites admisibles.

En términos generales la ley de fatiga de los materiales que conforman la estructura del pavimento según los resultados de ensayos de laboratorio se puede escribir:

- Para la capa asfáltica

$$\epsilon_t = k N^{-a}$$

Donde:

ε_t = Deformación unitaria por tracción en la fibra inferior de la capa de material asfáltico.

N = Numero admisible de repeticiones de carga.

a , k = Parámetros que dependen del tipo de material de la capa, determinados experimentalmente.

- Para la Sub-rasante

$$\varepsilon_z = k N^{-b}$$

Donde:

ε_z = Deformación unitaria vertical en la capa superior de la sub-rasante.

N = Numero admisible de repeticiones de carga.

b, k = Parámetros que dependen del tipo de material de la capa, determinados experimentalmente.

Cuando algunas de las capas de los materiales granulares que forman parte de la estructura de pavimento está tratada con cemento Portland, la ecuación de la ley de la fatiga que hay que verificar es la relacionada con la tensión horizontal de tracción como sollicitación crítica, está según los franceses (LCPC) es:

$$\sigma_{adm} = a \left(\frac{N}{10^6} \right)^{-1/12} \sigma_0$$

En donde:

σ_{adm} = Tensión admisible por tracción en la fibra inferior de la capa de material.

N = Numero admisible de repeticiones de carga.

a = Parámetros que dependen del tipo de material.

σ_0 = Resistencia a la flexotracción del material.

Diseño directo del pavimento

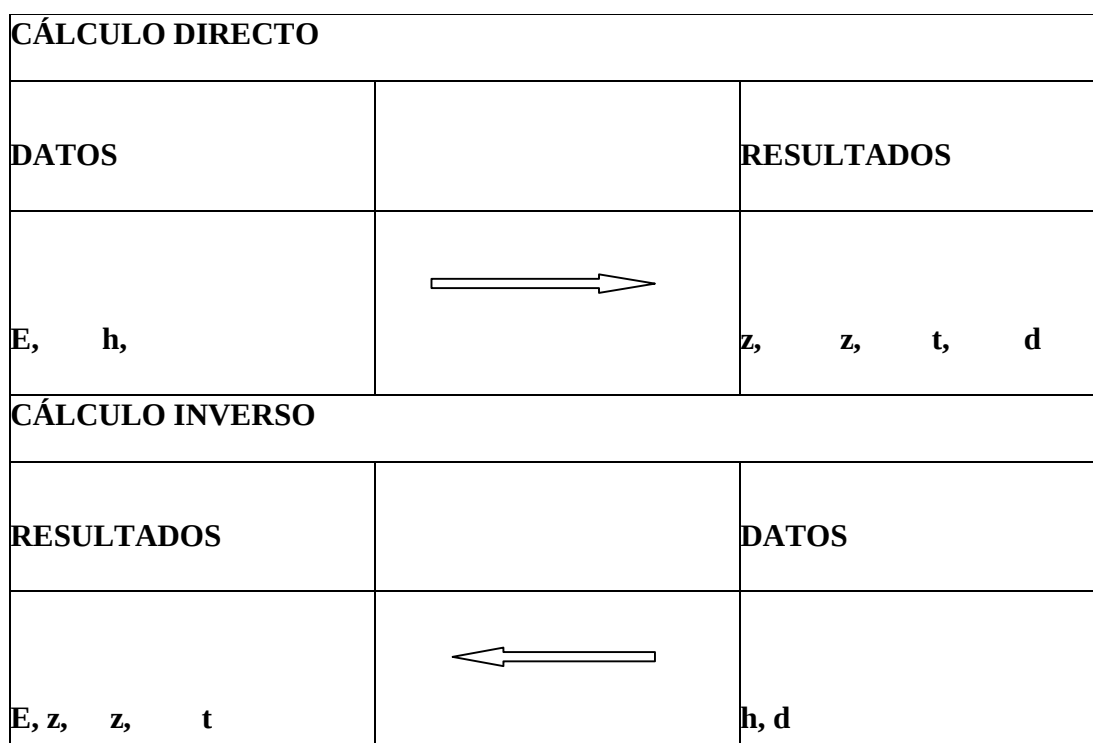
El procedimiento de diseño consiste en escoger una adecuada combinación de espesores de capas y características de materiales (E , t) causados por las ε_z y ε_{xz} , σ que los esfuerzos y deformaciones (solicitaciones a que se somete la estructura, permanezcan dentro de los límites admisibles durante la vida útil de la estructura que están constituyendo.

En términos generales, con las leyes de fatiga de los materiales se puede encontrar las deformaciones, esfuerzos y deflexiones admisibles de los materiales y con la teoría de esfuerzo y deformación en una masa de suelo se encuentran las deformaciones, esfuerzos y deflexiones actuantes en la estructura de pavimento.

Teniendo en cuenta la gran capacidad de las herramientas computacionales actuales y con una adecuada caracterización de los materiales, se pueden programar las ecuaciones diferenciales para calcular los esfuerzos, deformaciones y deflexiones a las que está sometido el pavimento y la sub-rasante por acción de las cargas impuestas por el tránsito; en nuestro medio se tiene fácil acceso a programas como el DEPAV del paquete INPACO del Instituto de Vías de la Universidad del Cauca, también existen otros programas como ALIZE III, BISAR, CHEVRON, ELSYM 5, KENLAYER, EVERSTRESS, FLAC3D 2.00 (Modelo elástico no lineal), etc., que realiza estos cálculos; obtenidos los esfuerzos, deformaciones y deflexiones pueden ser comparados con los límites admisibles obtenidos por medio de las leyes de la fatiga de los materiales.

Con los valores de los módulos y espesores de las capas y empleando programas de computador que determinan las tensiones, deformaciones y desplazamientos se comprueba si la estructura del pavimento está bien dimensionada con las suposiciones hechas inicialmente, esto se denomina cálculo directo; la solución a la que se llega de esta manera es única. Cuando hay que estimar la capacidad estructural de un pavimento en servicio que está llegando al final de su período de diseño se recurre a medir el desplazamiento vertical del pavimento (deflexión) bajo una carga estándar predeterminada; esta estimación se hace conociendo los espesores y las deflexiones en uno o en varios puntos donde se aplica dicha carga; con estas deflexiones y espesores se pueden determinar los valores de los módulos de los materiales que están constituyendo el pavimento; esto se conoce con el nombre de

cálculo inverso⁴ en el que la solución no es exacta ni única y se requieren de varias reiteraciones y del criterio de ingeniero para ajustar la solución definitiva; para el cálculo inverso también existen programas de computador como el EVERCAL 5.0, MODULUS 5.1, que hacen las iteraciones necesarias automáticamente y no manual mente como se ha hecho hasta la actualidad en nuestro medio. En el siguiente esquema se muestra el proceso del cálculo directo e inverso.



Según AEPO S.A. Madrid España 2001.

A continuación se presentan algunas ecuaciones y conceptos encontrados en las referencias para determinar los límites admisibles en cada capa que conforma la estructura de pavimento.

1. Sub-rasante

Para determinar las características del suelo de soporte se puede recurrir a ensayos de placa o a través de ensayos triaxiales, el módulo de la sub-rasante es susceptible a la humedad y al estado de esfuerzos de las mismas. Las siguientes correlaciones se pueden emplear para

determinar este parámetro, basados en el ensayo CBR, que es de relativamente fácil ejecución, mientras que los mencionados primero son costosos.

$$ESR = 100 \text{ CBR (Kg/cm}^2\text{)}$$

$$ESR = 130 \text{ CBR}^{0.714} \text{ (Kg/cm}^2\text{)}$$

$$ESR = 10 \text{ CBR (MPa)}$$

Para suelos blandos con $\text{CBR} < 10\%$

$$ESR = 6.5 \text{ CBR}^{0.65} \text{ (MPa)}$$

$$ESR = 5 \text{ CBR (MPa)}$$

La relación de Poisson se puede tomar: $0.35 < \mu < 0.50$

Los límites admisibles se pueden obtener con las ecuaciones que se muestran en las siguientes tablas.

ECUACIÓN DE ESFUERZO	UNIDAD	OBSERVACIONES
$\sigma_z = C \text{ ESR} / 1 + 0.7 \text{ LOG}_{10}(\text{N})$	2	C = 0.008 (JEUFFROY).
	(Kg/cm ²)	C = 0.007 (Dormon & Kerhoven).
$\sigma_z = 0.09607 \text{ CBR}^{1.2} (\text{N})^{1/4.35}$	MPa	Centro de investigaciones viales de Bélgica (CRR). CBR en %

ECUACIÓN DE ELONGACIÓN	OBSERVACIONES
$\epsilon_z = 2.8 \times 10^{-2} (\text{N})^{-0.25}$	Shell, confiabilidad 50% **
$\epsilon_z = 2.13 \times 10^{-2} (\text{N})^{-0.25}$	Shell, confiabilidad 85%
$\epsilon_z = 1.79 \times 10^{-2} (\text{N})^{-0.25}$	Shell, confiabilidad 95%
$\epsilon_z = 2.16 \times 10^{-2} (\text{N})^{-0.28}$	Universidad de Nottingham. Brown y Pell.
$\epsilon_z = 2.1 \times 10^{-2} (\text{N})^{-0.24}$	LCPC Francia, para calzadas nuevas.
$\epsilon_z = 2.5 \times 10^{-2} (\text{N})^{-1/4.1}$	LCPC Francia, Para refuerzos.
$\epsilon_z = 1.1 \times 10^{-2} (\text{N})^{-0.23}$	Centro de investigaciones viales de
$\epsilon_z = 1.05 \times 10^{-2} (\text{N})^{-0.223}$	Chevron.

Utilizar una confiabilidad del 85% equivale a emplear la del 50% aplicando 3 veces las repeticiones de carga (N) esperadas. Del mismo modo al utilizar la del 95% de confiabilidad equivale a emplear la del 50% aplicando 6 veces las repeticiones esperadas.

Materiales Granulares

Para determinar las características de los materiales granulares se puede usar el criterio de fijar el módulo de una capa en función del modulo de la capa subyacente, y del espesor de la capa en mm, ecuación propuesta por Dormon & Metcalf, y adoptada por la Shell en su método de diseño.

$$E_{CG} = 0.206 h_{CG}^{0.45} E_{SR} \quad (\text{Kg/cm}^2)$$

$$2 < E_{CG}/E_{SR} < 4$$

h en mm.

También se pueden utilizar las siguientes ecuaciones teniendo en cuenta las algunas recomendaciones:

$$E_{SB} = E_{SR} (5.35 \log h_{SB} + 0.62 \log E_{SR} - 1.56 \log h_{SB} \log E_{SR} - 1.13)$$

$$E_B = E_{SB} (8.05 \log h_B + 0.84 \log E_{SB} - 2.10 \log h_B \log E_{SB} - 2.21)$$

En donde:

E_{SR} : Es el módulo de elasticidad de la sub-rasante en Kg/cm².

h_{SB} : Es el espesor de la capa de sub-base en cm.

E_{SB} : Es el módulo de elasticidad de la sub-base en Kg/cm².

h_B : Es el espesor de la capa de base en cm.

E_B : Es el módulo de elasticidad de la base en Kg/cm².

Se recomienda dividir las capas en capas menores aproximadamente iguales cuando su espesor es mayor de 20 cm.

La relación de Poisson se puede tomar como: $0.35 < \mu < 0.50$

Capas En Material Asfáltico

Si no se disponen de los ensayos de laboratorio para determinar el módulo de la mezcla asfáltica, éste se puede estimar a partir de la composición volumétrica de ésta y del módulo del asfalto empleado usando el ábaco de Van Der Pole; la relación de Poisson varia con la temperatura, pero se $\mu = 0.35$. Puede tomar

Los límites admisibles se pueden obtener con las ecuaciones que reporta la bibliografía reunidas en la siguiente tabla.

ECUACIÓN DE ELONGACIÓN	OBSERVACIONES
$\epsilon_t = 3.48 \times 10^{-3} (N)^{-0.204}$	Universidad de Nottingham++, Hot Rolled.
$\epsilon_t = 6.81 \times 10^{-3} (N)^{-0.285}$	++Mezclas densas con asfalto de penetración 100.
$\epsilon_t = 11.38 \times 10^{-3} (N)^{-0.347}$	++Con asfalto 180/220.
$\epsilon_t = 1,6 \times 10^{-3} (N)^{-0.21}$	Centro de investigaciones viales de Bélgica (CRR).
$\epsilon_t = 6.44 \times 10^{-3} (N)^{-0.27}$	Shell. V_b = % de contenido de asfalto de la mezcla, S_{mix} = Modulo de la mezcla en Pa. CEDEX-COST324 España 1998.
$\epsilon_t = 2.522 \times 10^{-3} (N)^{-0.20}$	Shell-CEDEX España 1986.
$\epsilon_t = 2.852 \times 10^{-3} (N)^{-0.20}$	Shell-ESPAS España 1990.

Se puede llegar con el cálculo directo a un diseño óptimo, usando el criterio y la experiencia de ingeniero de carreteras lo que conduce a que se escoja una adecuada combinación de espesores y materiales que cumplan con las leyes de la fatiga (esfuerzos, deformaciones y deflexiones). Sin embargo se obtienen resultados muy variados según la ley escogida, lo que nos llevaría a pensar que las leyes de fatiga de los materiales se convertiría en un parámetro de diseño; para que esto no suceda se debe hacer más investigación en este campo de la ingeniería y no solamente convertir en “recetas de cocina” los estudios desarrollados en otros países donde existen otras condiciones climáticas, las cargas de los vehículos son diferentes y los materiales tienen propiedades mecánicas distintas, entre otras consideraciones

DETALLES DE LOS ELEMENTOS USADOS, PARAMETROS DE DEPAV

Radio de carga: como se considera que la superficie circular de un neumático uniforme se toma **10.80 cm** (esto se encuentra en párrafo 2.3.4 consideración de radio de carga en el libro de Diseño Racional de Freddy Alberto Reyes pagina 120)

Para la Distancia entre ejes.- se calcula con la siguiente ecuación **$De = RC * 3$**

Donde: De= distancia entre ejes, RC= a radio de carga esta ecuación esta en libro de Diseño racional de pavimentos de Freddy Alberto Reyes página 124

Distancia entre ejes: es igual a 3 veces el radio de carga $De = RC * 3 = 10.80 * 3 = 32.4$ cm

La presión de contacto es igual = presión de inflado

Presión de contacto= se dice según Abaco de libro de diseño Racional de pavimentos que la presión de contacto es de 70 a 80 libras/pulg² convirtiendo e igual a **6.5 Kg/cm²** (libro de Diseño Racional de pavimentos de Freddy Alberto reyes)

Relación de Poisson [μ]

Los valores para la relación de Poisson recomendados en el libro Diseño Racional de pavimentos de Freddy Alberto reyes página 129

Estos valores se los obtiene de acuerdo al tipo de material utilizado para cada capa

- Para la sub-rasante la relación de Poisson se puede tomar entre $0.35 < \mu < 0.50$
- para materiales granulares se recomienda tomar la relación de Poisson $0.35 < \mu < 0.50$
- Capas en material asfáltico se recomienda tomar $\mu = 0.35$

Se tomaron carpeta asfáltica $\mu = 0.35$ para la base $\mu = 0.40$ para sub base $\mu = 0.45$ para sub rasante $\mu = 0.45$

Para los módulos de elasticidad se los obtienen con las siguientes formulas dadas en el libro Diseño racional de pavimentos de Freddy Alberto Reyes página 190

Módulos de elasticidad: se calcula con esta relación

$$E(sr) = 105 * CBR \text{ (para } CBR \leq 7.2\%)$$

$$E(sr) = 105 * 7.445 = 781 \text{ Kg/cm}^2$$

Para capas granulares:

$$E(cg) = 0.204 * H^{0.45} * E \text{ de la capa inferior}$$

H= altura de capa en mm

E= modulo elástico

C. sub-base $E(cg) = 0.204 * H^{0.45} * E \text{ de la capa inferior} = 0.204 * 220^{0.45} * 781 = 1804.5$
Kg/cm²

C. base $E(cg) = 0.204 * H^{0.45} * E \text{ de la capa inferior} = 0.204 * 200^{0.45} * 1804.5 = 3994.3$
Kg/cm²

Para carpeta asfáltica

$$E = 7700 \text{ Kg/cm}^2 \text{ a } 31600 \text{ Kg/cm}^2$$

EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LOS PROGRAMAS EN UN PROYECTO

DISEÑO DE ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE TRAMO PUERTA EL CHACO-CANALETAS

PROGRAMA UTILISADO DEPAV:

DATOS:

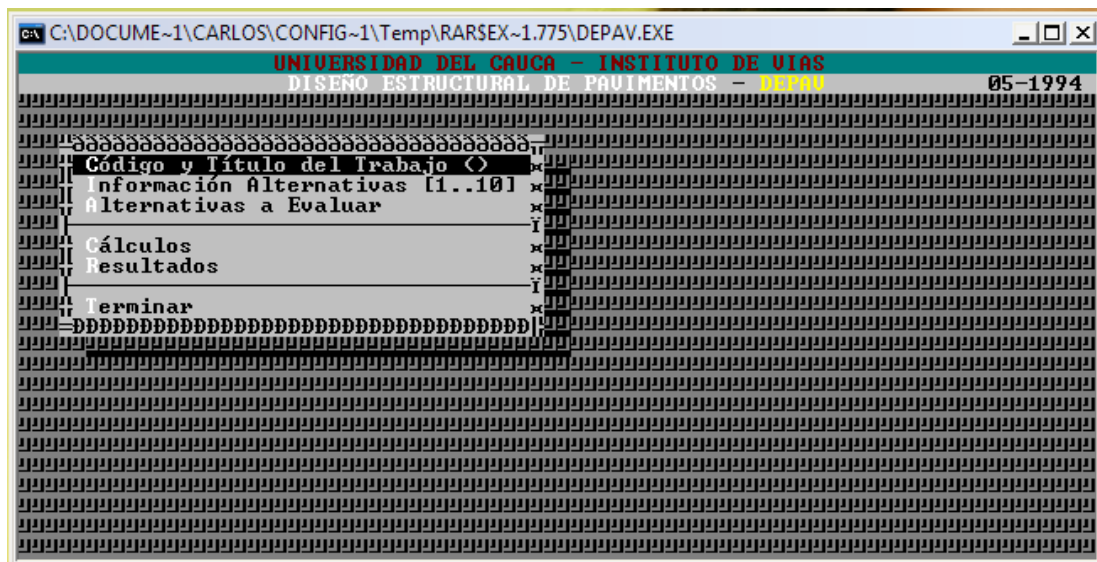
Radio de carga [cm]=10.8

Presión de contacto [kg/cm²]=5.6

Distancia entre ejes de llantas [cm]= 32.4

Capa	E [Kg/cm ²]	μ []	H[cm]
1	31000	0.35	5
2	3994.39	0.40	20
3	1804.5	0.45	22
Sub-rasante	781	0.45	

Usando Depav



Datos ingresados al programa

C:\DOCUME~1\CARLOS\CONFIG~1\Temp\Rar\$EX01.625\DEPAV.EXE

UNIVERSIDAD DEL CAUCA - INSTITUTO DE VIAS
DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS - DEPAV 05-1994

Código y Título del Trabajo (0002) x

Información Alternat

Alternativas a Evalu Número de Capas [2..6] | 4

Cálculos

Resultados

1ª Radio de Carga [cm] 10.80

2ª Presión de Contacto [Kg/cm²] 5.6

3ª Distancia Entre Ejes de Llantas [cm] 32.4

Terminar

Capas	E [Kg/cm²]	μ []	H [cm]	Ligada o No
1ª	31000	0.35	5	L
2ª	3994.39	0.40	20	N
3ª	1804.5	0.45	22	N
4ª	781	0.45		
5ª				
6ª				

BBorrar iSalir

Confirmando proceso de cálculo

C:\DOCUME~1\CARLOS\CONFIG~1\Temp\RAR\$EX~1.775\DEPAV.EXE

UNIVERSIDAD DEL CAUCA - INSTITUTO DE VIAS
DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS - DEPAV 05-1994

Código y Título del Trabajo (0001) x

Información Alternativas [1..10]

Alternativas a Evaluar

Cálculos

Resultados

Terminar

Confirme el proceso [s/n] : s

Resultados

C:\DOCUME~1\CARLOS\CONFIG~1\Temp\Rar\$EX01.625\DEPAV.EXE

UNIVERSIDAD DEL CAUCA - INSTITUTO DE VIAS
DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS - DEPAV 05-1994

Título del Trabajo : **pue**
 Número de Capas : **4** Alternativa : **1**

Capa N°	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
1ª	0.00 5.00	3.4400E-04 B -2.2900E-04 B	1.8457E+01 B -8.3309E+00 A	-2.1700E-04 B 3.1700E-04 A	5.5982E+00 A 4.0074E+00 B
2ª	5.00 25.00	-2.2900E-04 B -5.5500E-04 C	1.2236E+00 B -2.6512E+00 C	7.6100E-04 A 6.6700E-04 B	4.0074E+00 B 8.3411E-01 B
3ª	25.00 47.00	1.2900E-04 C -3.7800E-04 C	1.0401E+00 C -6.6994E-01 C	-5.1400E-05 C 6.1200E-04 C	8.3411E-01 B 5.6287E-01 C

Deflexión = **62.490 mm/100**
 Radio de Curvatura = **100.570 m**

âAyuda àInform.âPosic êEstruc èImprim îSalir

C:\DOCUME~1\CARLOS\CONFIG~1\Temp\Rar\$EX01.625\DEPAV.EXE

UNIVERSIDAD DEL CAUCA - INSTITUTO DE VIAS
DISEÑO ESTRUCTURAL DE PAVIMENTOS - DEPAV 05-1994

Título del Trabajo : **pue**
 Número de Capas : **4** Alternativa : **1**

Capa N°	Z (cm)	Epsilon T	Sigma T (Kg/cm²)	Epsilon Z	Sigma Z (Kg/cm²)
4ª	47.00	5.8200E-05 C	5.3738E-01 C	1.0400E-04 C	5.6287E-01 C
5ª					
6ª					

Deflexión = **62.490 mm/100**
 Radio de Curvatura = **100.570 m**

âAyuda àInform.âPosic êEstruc èImprim îSalir

Deformaciones Admisibles ϵ_z

			N	E admisible
universidad de Nottingham	ϵ_z	$2.16 \cdot 10^{(-2)} \cdot N^{-0,28}$	2768938	0,00020
Shell 1977	ϵ_z	$2.16 \cdot 10^{(-2)} \cdot N^{-0,25}$	2768938	0,00021
CRR	ϵ_z	$2.16 \cdot 10^{(-2)} \cdot N^{-0,23}$	2768938	0,00023
LCPC	ϵ_z	$2.16 \cdot 10^{(-2)} \cdot N^{-0,24}$	2768938	0,00019

El esfuerzo admisible $\sigma_z = \frac{0.007 E_{sr}}{1 + 0.7 \log N}$

$N = 2978985$

$E_{sr} = 360 \text{ Kg/cm}^2$

$\sigma_{z \text{ adm}} = 5.90 \cdot 10^{-1}$

Deformaciones y esfuerzos obtenidas con el Depav

ϵ_z	σ_z
$1.04 \cdot 10^{-4}$	$5.62 \cdot 10^{-1}$

El diseño está bien porque los esfuerzos deformaciones calculadas con el Depav no sobrepasan a los esfuerzos y deformaciones admisibles

4.6.- COMPARACION DE PARAMETROS Y RESULTADOS DE CADA PROGRAMA

4.6.1 Análisis de eficiencia confiabilidad precisión de cada programa

Parámetros de cada programa

Darwin	Depav
Número de Esals	Radio de carga (cm)
Serviciabilidad inicial	Presión de contacto (kg/ cm ²)
Serviciabilidad final	Distancia entre llantas (cm)
Nivel de confiabilidad	Modulo de Elasticidad [E] (kg/cm ²)
Desviación estándar	Relación de Poisson [μ]
Módulo resiliente	Espesor de Capa [H] (cm)
Número de etapas de construcción	
Número de diseño estructural	

Los parámetros que utilizan cada programa son diferentes.

Resultados obtenidos del espesor de las capas del paquete estructural de cada programa.

capas	Darwin	Depav
Capa de rodadura	6 cm	5 cm
Capa base	18 cm	20 cm
Capa sub base	20cm	22cm

Los resultados obtenidos de los dos programas no tienen mucha variación entre sí.

Descripción	Darwin	Depav
Eficiencia	Buena	Buena
Rapidez	Buena	Buena
Confiabilidad	Buena	Buena

CALCULO MANUAL

METODO AASHTO PARA PAVIMENTO FLEXIBLE
METODO ESPECIFICADOCalculo de Espesores de la Estructura
Pavimento de Asfalto - 20 años

$$\log W_{18} = Z_R * So + 9.36 \log(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07$$

Donde:

W18 =	2.978.985	Número de eje equivalentes a 18000 Lb que solicitaran durante el periodo
R =	85	Nivel de confiabilidad
Zr =	1,037	Desviación normal standard para el grado de confiabilidad R elegido.
So =	0,49	Error standard combinado de las predicciones de tránsito y de comportamiento
Pi =	4,2	Serviciabilidad inicial
Pt =	2,5	Serviciabilidad final
ΔPSI =	1,7	Diferencia entre el índice de serviciabilidad inicial y final.
Mr =	11167,9	[PSI] Modulo Resiliente de la Subrasante.
CBRs-r =	7,45 %	Valor de Soporte California (Sub Rasante)

$$M_R = 1500 * CBR$$

[PSI]

Fórmula Empírica

$$SN = 3,48 \text{ [pulg]}$$

Número Estructural del Pavimento.

$$SN = 88,4 \text{ [mm]}$$

Número Estructural del Pavimento.

ESPESORES DEL PAQUETE ESTRUCTURAL

Donde:

$$h2 = \frac{SN - h1 * a1}{a2 * m2 + a3 * m3 * 1.1}$$

$$a1 = 0,44 \text{ Coeficiente Esti}$$

$$a2 = 0,14 \text{ Coeficiente Esti}$$

$$a3 = 0,12 \text{ Coeficiente Esti}$$

$$m2 = 1,27 \text{ Coeficiente de l}$$

$$h3 = \frac{SN - a1 * h1 - a2 * m2 * h3}{a3 * m3}$$

$$m3 = 1,27 \text{ Coeficiente de l}$$

$$hi = \text{Espesores del paquete}$$

$$h1 = 60,0 \text{ [mm] Espes}$$

al trán

Remplazando en la fórmula se obtiene los espesores mínimos:

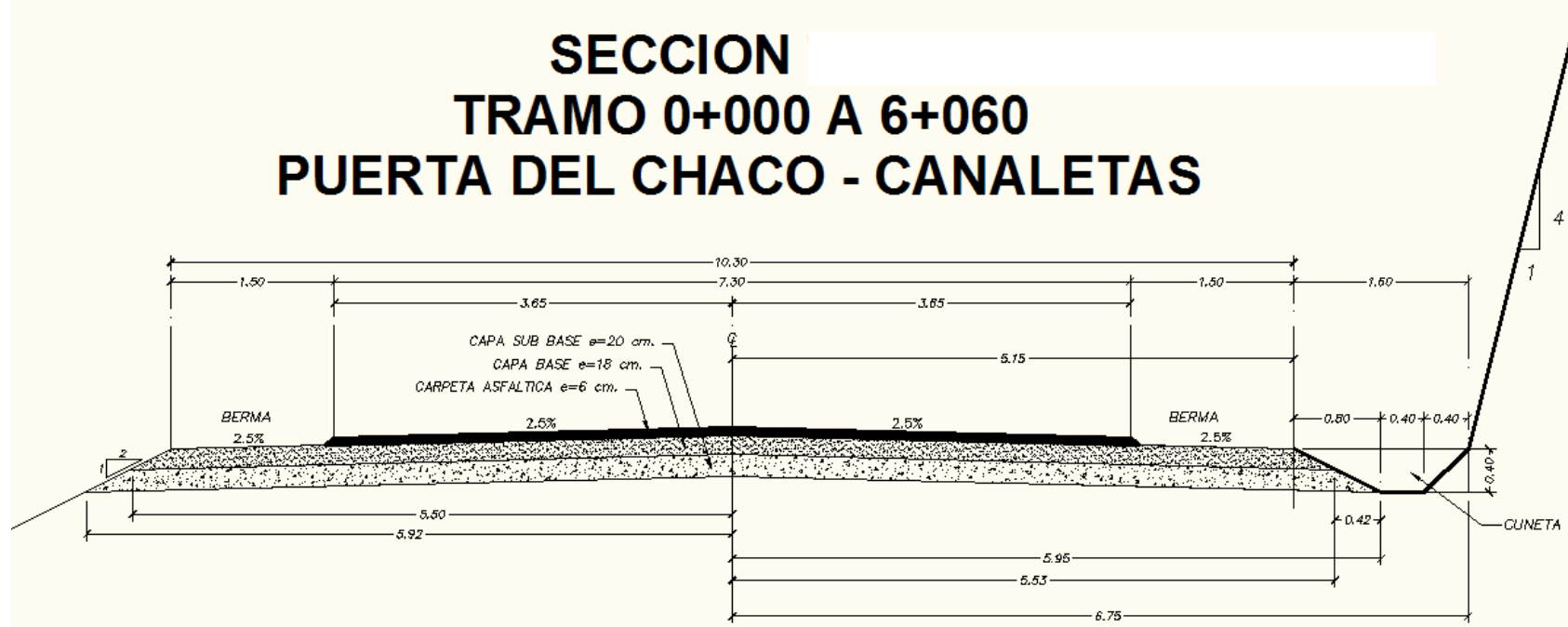
h1 =	60	[mm]	Carpeta de Rodadura
h2 =	179	[mm]	Capa Base
h3 =	197	[mm]	Capa Sub base

Espesores con los que se construyo
Puerta el Chaco-Carlaso

6 km

ESPEORES DEL PAQUETE ESTRUCTURAL DE PAVIMENTO FLEXIBLE

SECCION
TRAMO 0+000 A 6+060
PUERTA DEL CHACO - CANALETAS





Tramo asfaltado Puerta el Chaco – Carlaso 6 km





Fisura longitudinal



Derrumbe de parte del talud



Etapa constructiva del tramo



Compactación de la carpeta asfáltica

CAPITULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusión:

- Una vez analizada la información de resultados obtenidos en los programas de diseño estructural Darwin y Depav se pudo concluir lo siguiente.

Darwin:

- Que al ser ambos programas de diferente tipo porque el Darwin es un programa empírico y el Depav un programa analítico la diferencia entre ellos está marcado por los diferentes parámetros que usan para la calculación de resultados para el diseño estructural de pavimentos.
- También analizando los resultados podemos ver que para el programa Darwin se puede diseñar las capas mediante la introducción de datos conocidos como el aforo de tráfico que se puede convertir en número de ESALs y que los coeficientes de serviciabilidad inicial y serviciabilidad final, el nivel de confianza, la desviación estándar se los puede obtener en tablas que se encuentran en el libro de DISEÑO DE PAVIMENTO AASSTHO que es muy utilizado en nuestro medio estos datos de tabla se obtuvieron mediante varios ensayos y hace que el diseño de pavimentos sea más sencillo para el usuario del programa Darwin, ya que al conocer estos parámetros el programa nos permite encontrar el valor del numero estructural que es la parte fundamental para dimensionar las capas de el pavimento que se desea construir.
- Así también el programa de diseño estructural de pavimentos Darwin nos da la opción de diseño por capa que al introducir los coeficientes de capa, coeficiente de drenaje que estos datos también se encuentran en tabla, y al introducir el módulo de elasticidad, nos permite obtener resultados de las dimensiones de capa, estos

resultados no están limitados al factor de costo, el numero de capas en el paquete estructural pueden variar pero aun así cumplirán con el requerimiento de diseño ya que al sumar el numero estructural obtenido y compararlo con el número inicial éste cumplirá.

- También el programa Darwin consta con un diseño especificado que al utilizar este tipo de cálculo se nos permite cambiar las dimensiones de capa a manera de hacer iteraciones de las capas que nos permita dar dimensiones adecuadas a los requerimientos constructivos más adecuados pero para ello se debe tomar en cuenta que el numero estructural calculado cumpla con el SN de diseño que se obtiene mediante el mismo programa.
- Se puede decir que el programa Darwin en su uso se nos facilita enormemente la tarea de hacer los cálculos manuales, que su manejo no es complicado si se cuenta con un conocimiento de básico de programas en Windows ya que cuenta con los comandos similares que otros programas como el Word el Excel sus ventanas sus comandos son fáciles de usar.

DEPAV

- Como se pudo evidenciar el programa DEPAV es un programa que para su cálculo usa el método analítico de diseño de pavimentos flexibles, y al introducir los datos a dicho programa este nos calcula los esfuerzos y deformaciones del paquete estructural de pavimento, y luego uno debe calcular manualmente utilizando formulas, para el cálculo de la deformación y esfuerzo admisible y comparar si cumple con las deformaciones calculadas ya que las deformaciones calculadas con el programa no deben exceder a las deformaciones admisibles.
- Podemos decir que el Depav es un programa confiable ya que al conocer las deformaciones y esfuerzos a los que se encuentra sometido el paquete estructural, conoceremos la resistencia de cada capa y nos proporciona una ayuda para saber si debemos cambiar la dimensión de las capas para poder optimizar el diseño.

DARWIN ENTRE DEPAV

- Ahora para concluir la comparación se utilizaron ambos programas en un tramo de carretera Puerta el Chaco-Canaletas y podemos decir que los resultados obtenidos fueron similares ya que no hubo mucha diferencia entre los mismos a pesar que ambos programas utilizan distintos parámetros de cálculo los resultados no varían tanto.
- En conclusión podemos decir también que los ambos programas son precisos en sus cálculos ya que los resultados son similares entre ellos.
- En rapidez para el cálculo de resultados y más directo es el programa Darwin.
- Ambos programas resultan adecuados para aplicarlos en nuestro medio para realizar el cálculo del paquete estructural de pavimento flexible.
- Ambos programas son fáciles de manejar y son de gran ayuda para simplificar y el trabajo al diseñar el paquete estructural de un pavimento flexible.
- Una ventaja del programa Darwin que en su aplicabilidad incluye el cálculo de diseño de pavimento rígido y flexible y el Depav solamente se limita al cálculo de diseño de pavimento flexible.

5.2 .-RECOMENDACIONES

Se recomienda que para el uso de cada programa se deba contar con sus manuales para el uso de dichos programas porque bien a ser de una gran ayuda para comprensión en su manejo.

Se recomienda conocer los parámetros que usan ambos programas ya que debido a su entera comprensión está basado todo el diseño del paquete estructural de pavimento flexible.

Se recomienda se cuente con el conocimiento básico de la ingeniería vial para el cálculo de diseño estructural de pavimentos.

También debemos recomendar que los ingenieros que realizasen el diseño estructural de un pavimento flexible, este diseño se los haga utilizando ambos programas así podrán contar con la seguridad que el diseño es óptimo, ya que al realizarlo con el programa Darwin podrá comparar los resultados con el programa Depav y con ello estarán tomando en cuenta varios parámetros y a la vez distintos que ambos programas utilizan así podrán ver si los números estructurales cumplen y las deformaciones cumplen para que el diseño sea más preciso.

CAPITULO 6:

ANEXOS

6.1.- Bibliografía

- 1.- Freddy Alberto Reyes Liscano "Diseño racional de pavimentos" editorial escuela Colombia de ingeniería 2003
- 2.- Universidad Nacional de san Juan, Argentina traducción del libro curso de diseño de pavimentos Método AAshto -97
- 3.- Ingenieros Carlos Kramer, José María Pardillo, Sandro Rocci, Manuel Romana, Victor Sánchez Blanco "ingeniería de carreteras volumen 2"
- 4.- manual de Darwin 3.0
- 5.- BERRY, Peter L. y REID, David. "Mecánica de suelos", McGraw Hill. Bogotá 1993.
- 6.- CRESPO, del Río Ramón "LA INGENIERIA DE PAVIMENTOS EN EL SIGLO XX1". AEPO S.A. España 2002.
- 7.- MEDINA, Luis R. y otros. "C A L C U L O DE LEYES DE FATIGA DE MEZCLAS BITUMINOSAS". AEPO S.A. España 2001.
8. - SHELL INTERNATIONAL PETROLEUM COMPANY LIMITED. "Addendum to the Shell pavement design manual". London 1985.

6.2.- DATOS DE RESPALDO ANEXO

ANEXO