



INSTITUTO
MEXICANO DEL
TRANSPORTE



Guía rápida de Usuario IMT-PAVE 3.0

Paul Garnica Anguas
Roberto Hernández Domínguez
Alejandro Castellanos Cordero

SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE

Guía rápida de usuario IMT-PAVE 3.0

Resumen

La presente guía describe los principios de la herramienta mecanicista para el cálculo estructural de pavimentos flexibles basada en el concepto del espectro de daño, IMT PAVE 3.0, el cual toma en cuenta los niveles de carga representativos de la red carretera mexicana caracterizados como espectros de carga y se fundamenta en los principios de mecánica de pavimentos, es decir, se calculan las respuestas críticas de un pavimento flexible, para luego traducirlas en acumulación de daño en el tiempo para poder predecir la vida útil del pavimento.

Se presenta una herramienta sencilla y práctica en su uso, que contribuya a las metodologías empírico-mecanicistas de uso actual, y que se encuentre adaptada a las necesidades que requiere el diseño de pavimentos en México, basada en el comportamiento y características de nuestra infraestructura.

Introducción

El presente manual fue elaborado para el programa IMT-PAVE en su versión 3.0 para el diseño de pavimentos flexibles para carreteras con los principios empíricos . mecanicistas para México. El objetivo de esta guía es explicar la interfaz de usuario, los datos de entrada y la interpretación de datos de salida.

Descripción General

El IMT-PAVE 3.0 es una herramienta informática para el diseño de pavimentos mediante una metodología empírico-mecanicista que pone un énfasis en el concepto de *espectro de carga* para relacionarlo con el de *espectro de daño o daño acumulado*, a través del análisis de esfuerzos y deformaciones en la estructura de pavimento y su correlación con los principales tipos de deterioros que presenta.

Las metodologías empírico - mecanicistas pretenden tener un enfoque científico, con un marco teórico sólido que permita el análisis completo del comportamiento de un pavimento, ante las acciones del clima y del tránsito vehicular. Esto es, un marco teórico en donde las propiedades fundamentales de los materiales se conocen, ya que se pueden determinar en laboratorio o en campo y que permita la predicción correcta de la evolución en el tiempo de los dos deterioros principales, fatiga y deformación permanente, y por ende, aumentar en gran medida la confiabilidad del diseño.

Las componentes de entrada al proceso de diseño se refieren a la geometría de la estructura, básicamente a los espesores de cada capa, las propiedades de los materiales que conforman cada una de esas capas que serán módulos dinámicos o resilientes y a su nivel de tránsito vehicular definido por su espectro de distribución de cargas. La selección del diseño inicial consiste en una primera estimación de valores para esas componentes de entrada.

Definido el diseño inicial, se procede al cálculo de las respuestas estructurales en la sección estructural del pavimento. Estas respuestas estructurales consisten en conocer la distribución de esfuerzos (), deformaciones unitarias () y deflexiones (). El cálculo se realiza básicamente considerando al pavimento como un medio multicapa, donde el comportamiento de los materiales se apoya en la Teoría Elástica Multicapa.

A partir de la respuesta estructural en el pavimento se calcula el nivel de daño esperado en el período de diseño, para los dos tipos de deterioro principales que se presentarán. Calculados los niveles de deterioro para el período de diseño, se introduce el concepto de vida remanente, el cual es el inverso del daño acumulado en el periodo de diseño y determinará cuando una sección ha excedido o no el valor máximo de daño acumulado.

Como fue expresado anteriormente, la idea fundamental es la de poder garantizar el desempeño del pavimento a lo largo de su vida de proyecto. Esto significa garantizar que los niveles de agrietamiento y de deformación permanente, se mantendrán dentro de un rango ideal, que dependerá de la importancia del proyecto analizado.

Instalación del programa.

- Abra la carpeta *IMT PAVE 3.0*
- Ejecute el archivo *setup.exe* para instalar el programa, el archivo de instalación más actual o cualquier copia adicional puede conseguirse escribiendo a cualquiera de los siguientes correos electrónicos.

pgarnica@imt.mx, roberto.hernandez@imt.mx,
alejandro.castellanos@yahoo.com

- Inicie la aplicación ejecutando el icono en el escritorio IMT-PAVE 3.0 o directamente en el menú inicio de su computadora.

Proyecto Nuevo

Al ejecutar la herramienta, deberá ir a la barra de menú, seleccionar **A**rchivo+, a continuación **N**uevo+ para poder acceder a la página de inicio de un proyecto.

Descripción de la interfaz

La herramienta cuenta con 4 módulos principales.

- Tránsito
 - Espectros de Carga
 - Análisis Espectral
 - Análisis Probabilista
-

Módulo 1. Tránsito:

Contiene las celdas para ingresar los datos generales del tránsito como volumen, (Tránsito Diario Promedio Anual), factores de distribución por sentido y por carril, horizonte de proyecto, tasa de crecimiento y clasificación vehicular, esta clasificación se basa en los manuales de datos viales que publica la Dirección General de Servicios Técnicos de la SCT.

TDPA (veh/día)

Factor de Distribución por:

Sentido

Carril

Horizonte de Proyecto:

Vida (años)

Tasa de crecimiento %

Clasificación Vehicular:

A	<input type="text" value="63"/>	
B2	<input type="text" value="5"/>	
B3	<input type="text" value="1"/>	
C2	<input type="text" value="9"/>	
C3	<input type="text" value="10"/>	
T3-S2	<input type="text" value="6"/>	
T3-S3	<input type="text" value="3"/>	
T3-S2-R4	<input type="text" value="1"/>	
Otros	<input type="text" value="2"/>	
SUMA	<input type="text" value="100.0"/>	

Volumen de tránsito para el horizonte de proyecto

Tipo de Eje	%	# Repeticiones
Sencillo	42.68	214,543.1
Dual	17.07	85,817.3
Tandem	36.59	183,894.1
Tridem	3.66	18,389.4



Figura 1. Módulo de ingreso del tránsito.

En la parte inferior derecha del formulario se observan los porcentajes y número de repeticiones por tipo de eje por año de análisis. Este insumo servirá para el cálculo del número de repeticiones aplicadas de cargas. En esta parte el usuario no necesita modificar o ingresar ningún valor.

Módulo 2. Espectros de Carga.

Como el enfoque del IMT PAVE 3.0 es mecanicista-empírico, la forma de ingreso de los datos de carga se hace mediante los espectros de carga, es decir las cargas reales que soportará el pavimento durante su vida útil.

Este módulo contiene los niveles de carga del tránsito divididos por tipos de ejes y se deberá escoger el nivel de carga con el que se realizará el diseño,

Un espectro de carga es la distribución de frecuencias normalizada de las cargas de los vehículos pesados por tipo de eje. La herramienta ya incluye cuatro niveles de carga predefinidos, que se tomaron de las mediciones en las estaciones de pesaje del Estudio Estadístico del Autotransporte Federal que realiza la Dirección General de Servicios Técnicos.

Como resultado del análisis de los pesos de los vehículos de carga se definieron cuatro escenarios de carga que se basan en los límites legales de la normativa de pesos y dimensiones de la SCT [1]. Los escenarios predefinidos son: Carga Legal, Ligera Sobrecarga, Alta Sobrecarga y Muy Alta Sobrecarga. Todos estos escenarios representan condiciones de sobrecarga comunes en una gran parte de las carreteras mexicanas, por lo que se recomienda usar el nivel Alta Sobrecarga en un diseño de carreteras de altas especificaciones [2] ya que es el que mejor representa las cargas del tránsito en el país.

Si se conocen con precisión los datos de pesaje para un proyecto específico, estos pueden ser usados mediante la opción **avanzado+**, aquí se pide ingresar 36 valores estadísticos que modelan los cuatro espectros de carga, nueve por cada tipo de eje, esta forma de caracterizar los espectros de carga se fundamenta en la metodología de la Universidad de Texas en Austin [3] y no se incluye en los alcances de esta guía.

Así también de manera indicativa se muestra el límite legal de carga, estos umbrales son los que rigen para cada tipo de eje en la normativa mexicana vigente y determinan de manera gráfica el nivel de exceso de carga excedido para cada uno de ellos.

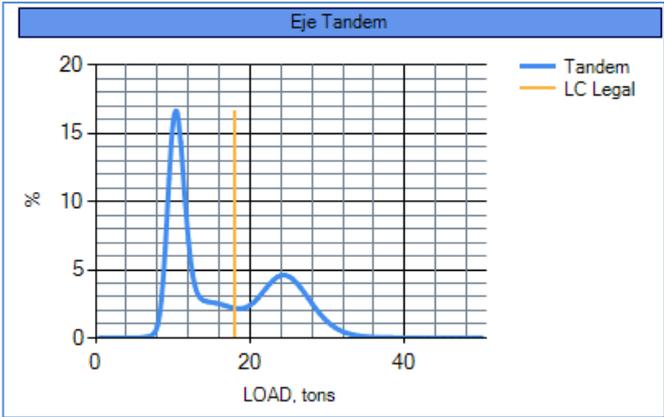


Figura 2. Espectro de carga del eje tándem y su límite legal

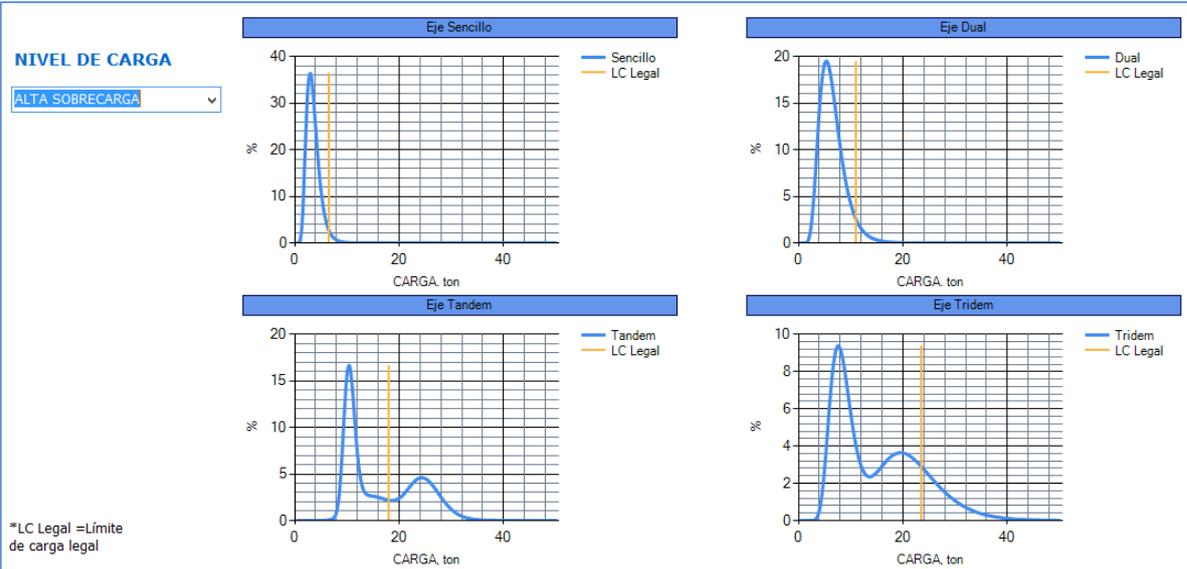


Figura 3. Espectros de Carga para los cuatro tipos de ejes, sencillo o sencillo direccional, sencillo dual, tándem y trídem.

Figura 4. Formulario de ingreso de los espectros de carga personalizados.

Módulo 3. Análisis espectral

Para iniciar el diseño de un pavimento, se debe proponer una sección que cuente con al menos 3 capas, la herramienta ya viene con una estructura predefinida de 3 capas típicas de una estructura para pavimento flexible, los nombres, espesores y módulos son valores por omisión que corresponderían a una sección para caminos con tránsito medio.

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO 

No. de Capa	Nombre Capa	Espesor (cm)	Módulo (MPa)
1	Carpeta Asfáltica	10	3500
2	Base Granular	20	200
3	Capa semi-infinita		50

Figura 5. Formulario para el ingreso de la estructura del pavimento.

Para agregar una nueva capa, se deberá seleccionar cualquiera en la ventana de la estructura y en la parte inferior se deberá usar el botón **Más(+)**, al hacer esto se abrirá una ventana para definir el tipo de la capa a agregar y el tipo de material, dentro de unas opciones propuestas de los materiales típicos para el tipo de capa correspondiente.

Así mismo se podrá eliminar cualquier capa usando el botón de la **Papelera+** eliminando la capa que se encuentre seleccionada previamente.

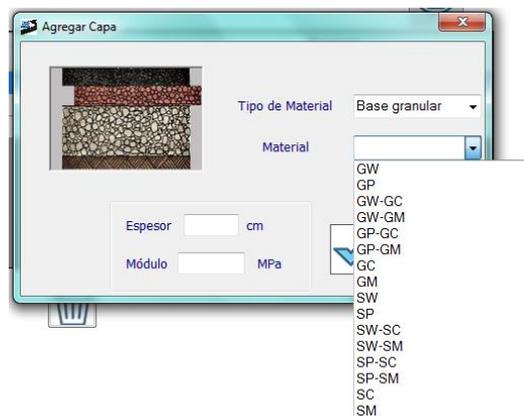


Figura 6. Formulario para el ingreso de una nueva capa de la estructura

El número mínimo de capas que admite la herramienta es tres, y no tiene un límite máximo, pero se recomienda usar el criterio ingenieril para determinar el número de capas que mejor convengan al diseño.

Es sumamente importante que al proponer los valores de resistencia de los materiales caracterizados con su valor de Módulo Resiliente, a excepción de la carpeta asfáltica que se caracteriza por su valor de módulo dinámico, se propongan aquellos valores realistas con resultados de los bancos de materiales que se vayan a usar y que dependerán de la disponibilidad que exista en el lugar del proyecto.

Desde el punto de vista de diseño mecánico, el valor que caracteriza el comportamiento mecánico de un material (capas inferiores) es el módulo resiliente M_r , en caso de no tener el valor obtenido de una prueba de laboratorio la herramienta cuenta con un catálogo de materiales al que se accede mediante el botón identificado con la letra (i), en este catálogo se muestran los rangos típicos de valores de M_r , para diferentes tipos de suelos bajo la clasificación SUCS y AASHTO. [4]

Clasificación del suelo	Rango de M_r (MPa)	Valores típicos de M_r (MPa)
A-1-a	262 - 290	276
A-1-b	245 - 276	262
A-2-4	193 - 259	221
A-2-5	165 - 228	193
A-2-6	148 - 214	179
A-2-7	148 - 193	165
A-3	169 - 245	200
A-4	148 - 200	165
A-5	117 - 176	138
A-6	93 - 169	117
A-7-5	55 - 121	83
A-7-6	34 - 93	55

Figura 7. Rango de valores típicos de M_r para suelos en clasificación AASHTO.

Finalmente al ejecutar el análisis espectral podrán obtenerse los resultados de la vida estimada a la fatiga y a la deformación permanente.

Para que un diseño sea válido la estructura propuesta en combinación de módulos y espesores deberá ser mayor al horizonte de proyecto planteado en el formulario de ingreso del tránsito.

Clasificación del suelo	Rango de Mr (MPa)	Valores típicos de Mr (MPa)
CH	34 - 93	55
MH	55 - 121	79
CL	93 - 165	117
ML	117 - 176	138
SW	193 - 259	221
SP	165 - 228	193
SW-SC	148 - 214	176
SW-SM	165 - 228	193
SP-SC	148 - 214	176
SP-SM	17 - 228	193
SC	148 - 193	165
SM	193 - 259	221
GW	272 - 290	283
GP	245 - 276	262
GW-GC	193 - 28	238
GW-GM	245 - 279	265
GP-GC	193 - 269	234
GP-GM	214 - 276	248
GC	165 - 259	214

Figura 8. Rango de valores típicos de Mr para suelos en clasificación SUCS.

Módulo 4. Análisis Probabilista

Una vez que un diseño ha sido aprobado previamente en el análisis espectral, se puede considerar la variabilidad en los factores de diseño, en particular en los valores de resistencia de los materiales con cierto grado de confiabilidad.

Para esto se debe ingresar un Coeficiente de Variación del valor del módulo en las celdas en azul del formulario **Análisis Probabilista**, para cada una de las capas consideradas en el diseño (quienes provienen previamente del análisis espectral y que ya fueron analizadas), si una celda es dejada sin valor, se considerará que la variabilidad es nula, así mismo se debe determinar un valor de confiabilidad en el diseño en la celda correspondiente.

Al igual que el análisis previo, el análisis probabilista dará como resultado la vida útil a la fatiga y a la deformación permanente, pero ahora considerando la variabilidad probable en los valores de resistencia de los materiales

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

No. de Capa	Nombre Capa	Espesor (cm)	Módulo (MPa)	Coefficiente de Variación, %
1	Carpeta Asfáltica	10	3500	20
2	Base Granular	20	200	20
3	Base estabilizada	2	200	20
4	Capa semi-infinita		50	20

CONFIABILIDAD
95% ▾

Análisis Probabilista

Reporte

RESULTADOS

Vida por fatiga (años)

Vida por deformación (años)

Figura 9. Hoja para el análisis probabilista basado en la variabilidad y nivel de confiabilidad.

Opciones del Menú Principal:

- **Herramientas**

Además del catálogo de materiales disponible en la ventana de análisis espectral, cuando no se cuenta con los datos de laboratorio para los materiales propuestos en el diseño, el IMT-PAVE 3.0 cuenta con dos herramientas o calculadoras que sirven de apoyo para conocer los módulos resilientes de las capas inferiores y los módulos dinámicos de las mezclas asfálticas.

- **Calculadora de Módulo Resiliente**

Esta herramienta cuenta con tres opciones de materiales, granulares, finos y estabilizados, se debe escoger una clasificación y proponer la profundidad a la que se encuentra la capa para conocer el Módulo Resiliente (M_r) con el que estará trabajando.

The image shows a software interface for calculating Resilient Modulus (M_r). It includes three radio buttons for material types: **Granulares** (selected), **Finos**, and **Estabilizados**. Below each radio button is a 'Clasificación:' dropdown menu. The 'Granulares' dropdown is empty, the 'Finos' dropdown is empty, and the 'Estabilizados' dropdown is set to 'ESTABILIZADO CON CEB'. A 'Profundidad de la capa (z)' input field is set to 0.5 m. A central diagram shows a vertical load P at depth z , with a radius r and distance R from the load to a point on a cube, illustrating the Boussinesq stress distribution. The diagram includes the formulas $R^2 = r^2 + z^2$ and $\text{Cos } \theta = z/R$. A 'Calcular' button and an 'MR' output field in MPa are also visible.

Figura 10. Calculadora de Módulos Resilientes

- **Calculadora de Módulo Dinámico**

Esta herramienta considera diferentes modelos de predicción para el módulo dinámico de una mezcla asfáltica, estos modelos toman en cuenta diferentes parámetros ya sea del diseño de la mezcla, agregados o el asfalto, los detalles de cada modelo están fuera del alcance de esta guía, pero cualquier diseñador de mezclas asfálticas puede conocer los valores necesarios a ingresar.

The screenshot shows a software interface for calculating dynamic modulus. On the left, there are four buttons: 'Elegir Modelo', 'Datos del asfalto', 'Datos de la mezcla', and 'Calcular Módulos'. The main area contains a form with the following fields: a radio button for 'G*' (unselected) and a radio button for 'Tipo de asfalto' (selected); a text input for '|G|*' with the value '1300' and unit 'KPa'; a text input for 'Ángulo de fase:' with the value '48' and unit 'grados'; a dropdown menu for 'Tipo de asfalto' with 'PG 64-10' selected; a text input for 'T:' with the value '21' and unit '°C'; a text input for 'F:' with the value '10' and unit 'Hz'; and two text inputs for 'A:' (value '11.432') and 'VTS:' (value '-3.8420').

Figura 11. Modelo de Witczak para el cálculo de módulo dinámico de una mezcla asfáltica

- **Guardar proyecto**

Para guardar el proyecto hágalo desde la barra de herramientas en la parte superior de la interfaz, en el menú desplegable Archivo.

En esta opción se abre una ventana para seleccionar el nombre y la ubicación del proyecto a guardar, toda la información del proyecto se guarda con la extensión *.imt.

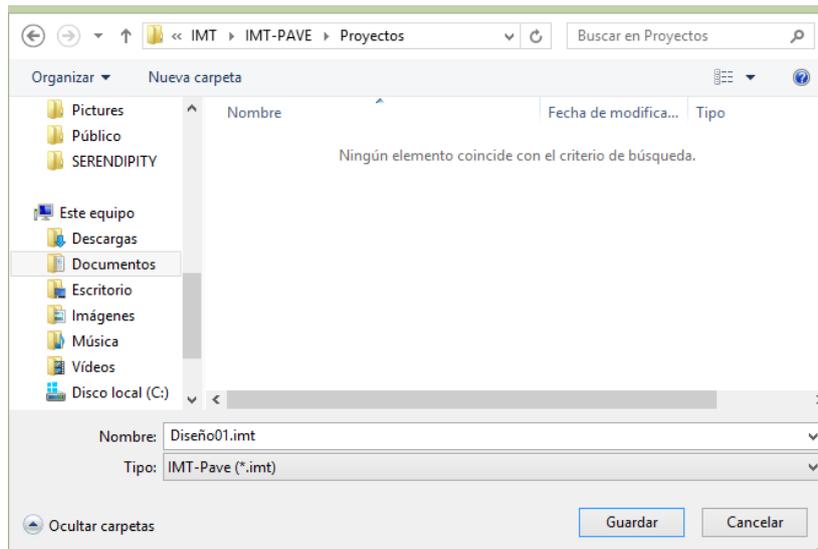


Figura 12. Ventana para guardar archivos

- **Abrir un archivo existente**

Para abrir un archivo previamente guardado se debe utilizar la opción Abrir desde la barra de herramientas, al abrir la ventana se despliegan los archivos con la extensión *.imt

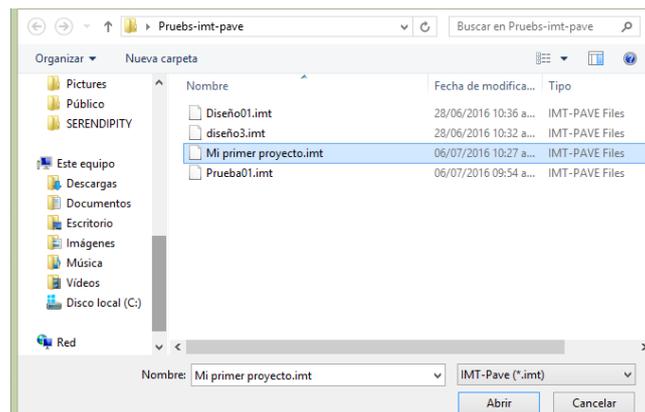


Figura 13. Venta para abrir un proyecto

- **Imprimir reporte de diseño**

El archivo tiene la facilidad de imprimir un reporte de diseño mediante dos opciones, en el menú desplegable y desde la ventana del análisis probabilista.

La opción se habilita una vez que se ha ejecutado el análisis probabilista y contiene la información mostrada en la figura 14.

Reporte

int INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
IMT-PAVE VER. 3.0
ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

DATOS DE TRÁNSITO
 TDPA: 5000
 Factor de distribución por carril: 0.5
 Factor de distribución por sentido: 0.5

Proyecto: [Campo de texto]
 Horizonte del proyecto: 20 años Fecha: 06/07/2016
 Tasa de crecimiento: 3 %

VOLUMEN DE TRÁNSITO PARA EL HORIZONTE DEL PROYECTO

CLASIFICACIÓN VEHICULAR	TIPO DE EJE	%	# DE REPETICIONES POR AÑO
A: 63 C2: 9 T3-S3: 3	Sencillo	42.68	214,543.1
B2: 5 C3: 10 T3-S2-R4: 1	Dual	17.07	85,817.3
B3: 1 T3-S2: 6 Otros: 2	Tandem	36.59	183,894.1
	Tridem	3.66	18,389.4

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

NO. CAPA	NOMBRE CAPA	ESPESOR (cm)	MÓDULO (MPa)	COEF. DE VARIACIÓN (%)
1	Carpetas Asfálticas	10	3500	20
2	Base Granular	20	200	20
3	Capa semi-infinita		50	20

CONFIABILIDAD 95% .

RESULTADOS
 Vida a la Fatiga: < 1 años
 Por deformación: < 1 años

Nota: El proyecto constructivo deberá contemplar los espesores indicados y verificar que los materiales seleccionados para cada una de las capas del

Vista Preliminar
Imprimir

Figura 14. Vista previa del reporte a imprimir

En la función de impresión se puede guardar un nombre para el proyecto que aparezca en la hoja impresa (barra azul). Este nombre puede ser igual o diferir del nombre guardado para el archivo, eso dependerá del usuario.

- **Cerrar el programa**

Para cerrar el programa, puede hacerlo desde el menú desplegable, en la opción Cerrar, si no ha guardado el proyecto el programa se cerrará y la información ingresada no se guardará.

Bibliografía y Referencias

Normativa NOM-012-SCT-2-2014, NORMA Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2014, Sobre el peso y dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte que transitan en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal

Hernández R., Garnica P. (2009) Espectros de carga representativos de la red carretera mexicana

Prozzi, Jorge. Hong Feng, (2006) Highway Traffic Characterization for Design of Pavement Structures

Garnica P., Pérez N. (2001), *Influencia de las condiciones de compactación en la deformación permanente de suelos cohesivos compactados*, Publicación Técnica No. 165, Instituto Mexicano del Transporte.

Garnica P., Pérez A. (2002), *Comportamiento de suelos arcillosos compactados adicionados con cloruro de sodio*, Publicación Técnica 201, Instituto Mexicano del Transporte.

Garnica P., Gómez J.A. (2002), *Mecánica de Materiales para Pavimentos*, Publicación Técnica 197, Instituto Mexicano del Transporte.

Barrera M., Garnica P. (2002), *Mecánica de suelos no saturados en vías terrestres*, Publicación Técnica 198, Instituto Mexicano del Transporte.

Sánchez F., Garnica P. (2002) *Metodología racional para el análisis de la densificación y resistencia de geomateriales compactados*, Publicación Técnica 200, Instituto Mexicano del Transporte.

Garnica P., Gómez J.A., Delgado H. (2003), *Algunos aspectos de la densificación de mezclas asfálticas con el compactador giratorio*, Publicación Técnica No. 228, Instituto Mexicano del Transporte.



Carretera Querétaro-Galindo km 12+000
CP 76700, Sanfandila
Pedro Escobedo, Querétaro, México
Tel +52 (442) 216 9777 ext. 3002
Fax +52 (442) 216 9671

<http://www.imt.mx/>

www.gob.mx/imt