

LIBRO: CSV. CONSERVACIÓN
TEMA: CAR. Carreteras
PARTE: 1. EVALUACIÓN
TÍTULO: 03. Evaluación de Pavimentos
CAPÍTULO: 011. Determinación de la Capacidad Estructural mediante Pruebas Destructivas

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los criterios generales para la determinación de la capacidad estructural de los pavimentos de carreteras, mediante pruebas destructivas, que realice la Secretaría con recursos propios o mediante un Contratista de Servicios, a que se refiere la Fracción E.6. de la Norma N·CSV·CAR·1·03·001, *Ejecución de Estudios de Evaluación de Pavimentos*.

B. DEFINICIÓN

Para determinar la respuesta mecánica y pronosticar la vida remanente de un pavimento se requiere determinar los módulos de elasticidad, de resiliencia, de ruptura, de reacción y dinámicos de las capas que lo integran. Una variante para dicha determinación requiere de realizar pruebas en campo y laboratorio a partir de muestras extraídas en campo, lo que representará la destrucción del pavimento existente en zonas puntuales. La determinación de la capacidad estructural mediante pruebas destructivas se refiere a la obtención del número de ejes equivalentes que resiste una estructura de pavimento cuyos parámetros de cálculo son determinados mediante pruebas de laboratorio o campo realizados a las muestras de material de capas que lo integran.

C. REFERENCIAS

Son referencias de esta Norma, las normas AASHTO T24, *Standard Method of Test for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete* y AASHTO T307, *Standard Method of Test for Determining the Resilient Modulus of Soils and Aggregate Materials*, ASTM D3497, *Standard Test Method for Dynamic Modulus of Asphalt Mixtures*, ASTM C78/C78M, *Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)*, ASTM D1195, *Standard Test Method for Repetitive Static Plate Tests of Soils and Flexible Pavement Components for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements* y ASTM D1196, *Standard Test Method for Nonrepetitive Static Plate Tests of Soils and Flexible Pavement Components for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements*; así como el *Método de Diseño del Instituto de Ingeniería de la UNAM* y la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017, *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 o la que la sustituya*.

Además, esta Norma se complementa con las siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Criterios Generales para el Diseño de Pavimentos Asfálticos	N·PRY·CAR·5·01·002
Ejecución de Estudios de Evaluación de Pavimentos	N·CSV·CAR·1·03·001
Presentación de la Evaluación de Pavimentos	N·CSV·CAR·1·03·013
Realización de Estudios de Rehabilitación de Pavimentos	N·CSV·CAR·1·03·014
Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos	M·MMP·1·02

Contenido de Agua	M·MMP·1·04
Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías	M·MMP·1·06
Límites de Consistencia	M·MMP·1·07
Prueba de Compactación Dinámica	M·MMP·1·09
Grado de Compactación	M·MMP·1·10
Valor Soporte de California (CBR) y Expansión (Exp) en el Laboratorio	M·MMP·1·11
Valor Soporte de California (CBR) en el Lugar	M·MMP·1·12
Sanidad de los Agregados mediante Sulfato de Sodio o de Magnesio	M·MMP·2·02·028
Resistencia a la Compresión Simple de Cilindros de Concreto	M·MMP·2·02·058
Granulometría de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M·MMP·4·04·002
Equivalente de Arena de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M·MMP·4·04·004
Desgaste Mediante la Prueba de Los Ángeles de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas	M·MMP·4·04·006
Resistencia a la Degradación por Abrasión del Material Pétreo con la Máquina Micro-Deval	M·MMP·4·04·007
Contenido de Cemento o Residuo Asfáltico en Mezclas Asfálticas mediante la Recirculación de Disolventes en Caliente	M·MMP·4·05·048
Contenido de Cemento o Residuo Asfáltico en Mezclas Asfálticas mediante Extracción por Centrifugado	M·MMP·4·05·049

D. REQUISITOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL MEDIANTE PRUEBAS DESTRUCTIVAS

Para la determinación de la capacidad estructural del pavimento, se requiere contar con la información descrita en la Cláusula D. de la Norma N·CSV·CAR·1·03·001, *Ejecución de Estudios de Evaluación de Pavimentos*.

E. EJECUCIÓN DE LA DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL MEDIANTE PRUEBAS DESTRUCTIVAS

El Contratista de Servicios y un representante de la Secretaría, identificarán en el campo las estaciones de la carretera donde se realizará la exploración directa y la extracción de material para realizar las pruebas de laboratorio necesarias, así como las pruebas de campo.

E.1. SEÑALAMIENTO Y DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DE OBRA

Antes y al término de la realización de la exploración, el Contratista será el responsable de colocar y retirar el señalamiento y dispositivos de protección de obra conforme se estipula en la Fracción E.3. de la Norma N·CSV·CAR·1·03·001, *Ejecución de Estudios de Evaluación de Pavimentos*.

E.2. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA

E.2.1. La exploración geotécnica se efectuará con sondeos de tipo pozo a cielo abierto (PCA) y calas; los PCA se efectuarán a cada kilómetro y se excavarán cincuenta (50) centímetros superiores dentro del cuerpo de terraplén o terreno natural; las calas se realizarán también a cada kilómetro, intercalándolas entre dos (2) PCA y a una profundidad semejante a la de los PCA. La distribución de PCA y calas será de tal forma que no haya un espaciamiento mayor a quinientos (500) m entre sondeos.

E.2.2. Cuando se tengan antecedentes de asentamientos o deformaciones longitudinales en la superficie de rodadura, el Contratista de Servicios propondrá la exploración necesaria para emitir las recomendaciones para resolver los problemas especiales de asentamientos.

- E.2.3.** Previo a la realización de los PCA, se extraerá un corazón de la carpeta y de la base estabilizada con cemento Pórtland, cuando esta última exista; adicionalmente, en el caso de losas de concreto hidráulico y a reserva de lo estipulado en los términos de referencia o lo señalado por la Secretaría, se extraerá una viga siguiendo lo indicado en la norma AASHTO T24, *Standard Method of Test for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete*.
- E.2.4.** La exploración se realizará en ambos sentidos de circulación del tránsito vehicular y en el carril de baja velocidad de ambas direcciones, cuando la carretera tenga más de dos (2) carriles por sentido; tanto los PCA como las calas se ubicarán coincidiendo con el borde exterior de la calzada de la carretera, de manera que las cuatro (4) paredes verticales de la excavación del PCA o cala se encuentren dentro del carril de circulación. En carreteras de un (1) carril por sentido de circulación, la exploración se intercalará en ambos carriles a tresbolillo.
- E.2.5.** En cada una de las capas detectadas en los PCA, se medirá su espesor y se determinará el grado de compactación y el contenido de agua natural, de acuerdo con lo indicado en los manuales M-MMP-1-10, *Grado de Compactación* y M-MMP-1-04, *Contenido de Agua*, respectivamente, y se extraerá una muestra alterada representativa; previa propuesta del Contratista de Servicios, se realizará la obtención del Valor Soporte de California (CBR) en el lugar, de acuerdo con lo indicado en el Manual M-MMP-1-12, *Valor Soporte de California (CBR) en el Lugar*, o prueba de placa de acuerdo con lo indicado en la norma ASTM D1195, *Standard Test Method for Repetitive Static Plate Tests of Soils and Flexible Pavement Components for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements* o en la norma ASTM D1196, *Standard Test Method for Nonrepetitive Static Plate Tests of Soils and Flexible Pavement Components for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements*, según sea el caso. En las calas se medirán los espesores de las capas y de cada una de ellas se tomará una muestra alterada representativa.
- E.2.6.** Las muestras de materiales recabadas de la exploración geotécnica se llevarán al laboratorio para determinarles sus características de calidad y, en su caso, sus constantes elásticas.
- E.2.7.** Será responsabilidad del Contratista de Servicios que, al finalizar los trabajos en cada uno de los PCA y calas, se restituyan las capas con los espesores, materiales y grado de compactación, iguales a los que se tenían antes de realizar la excavación de los PCA y de las calas.

E.3. PRUEBAS DE LABORATORIO

- E.3.1.** A cada una de las muestras de materiales obtenidas de los PCA, se les determinarán las características de calidad y resistencia que se indican en la Fracción E.4. de esta Norma, según el tipo de capa detectada en la exploración. En las muestras de materiales provenientes de las calas, se obtendrán sólo las características de plasticidad, granulometría y clasificación, de acuerdo con lo indicado en los manuales M-MMP-1-07, *Límites de Consistencia*, M-MMP-1-06, *Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías*, M-MMP-4-04-002, *Granulometría de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas* y M-MMP-1-02, *Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos*, respectivamente.
- E.3.2.** Los resultados obtenidos de las características mencionadas en el inciso anterior servirán para analizar la viabilidad de reutilización de las capas de pavimento, en las propuestas de rehabilitación a que se refiere la Norma N-CSV-CAR-1-03-014, *Realización de Estudios de Rehabilitación de Pavimentos*.
- E.3.3.** Además, a los corazones extraídos de la capa de mezcla asfáltica, se les determinará el módulo dinámico (E^*) siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM D 3497 *Standard Test Method for Dynamic Modulus of Asphalt Mixtures*, siempre y cuando el espesor de la mezcla asfáltica existente sea suficiente para realizar dicha prueba; en caso contrario, se les determinará el módulo de elasticidad (E) a partir de la medición de las deflexiones, como se indica en la Norma N-CSV-CAR-1-03-001, *Ejecución de Estudios de Evaluación de Pavimentos*.

- E.3.4.** En los materiales de las capas restantes del pavimento, se obtendrá el módulo de resiliencia (M_r) de acuerdo con lo señalado en la norma AASHTO T307, *Standard Method of Test for Determining the Resilient Modulus of Soils and Aggregate Materials*.
- E.3.5.** En el caso de las bases estabilizadas con cemento Pórtland y losas de concreto hidráulico, se obtendrán corazones que se adecuarán para que tengan una relación de esbeltez de dos (2), para determinarles la resistencia a la compresión simple, siguiendo lo indicado en el Manual M·MMP·2·02·058, *Resistencia a la Compresión Simple de Cilindros de Concreto*. A las vigas extraídas de concreto hidráulico se les determinará el módulo de ruptura (M_R), conforme a lo descrito en la norma ASTM C 78, *Standard Test Method for Flexure Strenght of Concrete*.
- E.3.6.** El Contratista de Servicios propondrá el número de pruebas a realizar de módulo dinámico ($|E^*|$), el módulo de resiliencia (M_r) y el módulo de ruptura (M_R) y lo someterá a aprobación de la Secretaría, en función de las condiciones del pavimento y la longitud del tramo por analizar.
- E.3.7.** La presentación de los resultados de laboratorio se realizará como se especifica en la Norma N·CSV·CAR·1·03·013, *Presentación de la Evaluación de Pavimentos*.

E.4. ELABORACIÓN DE PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PAVIMENTO

Los espesores y la calidad de los materiales de las capas del pavimento que se evalúa se representarán en un perfil estratigráfico, de acuerdo con lo señalado en la Norma N·CSV·CAR·1·03·013, *Presentación de la Evaluación de Pavimentos*.

La comprobación de las características de calidad de las capas del pavimento se realizará de acuerdo con lo siguiente:

E.4.1. Para subrasantes

La clasificación del material compactable de acuerdo con el Manual M·MMP·1·06, *Granulometría de Materiales Compactables para Terracerías*.

E.4.2. Para bases y subbases

Se determinará la sanidad de los agregados de acuerdo con lo establecido en el Manual M·MMP·2·02·028, *Sanidad de los Agregados mediante Sulfato de Sodio o de Magnesio*, y el equivalente de arena de acuerdo con el Manual M·MMP·4·04·004, *Equivalente de Arena de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*.

E.4.3. Para bases, subbases y subrasantes

Se determinará el contenido de agua, los límites de consistencia y la clasificación del suelo, así como el Valor Soporte de California (CBR) en el lugar, la compactación y el grado de compactación, de acuerdo con los Manuales M·MMP·1·04, *Contenido de Agua*, M·MMP·1·07, *Límites de Consistencia*, M·MMP·1·02, *Clasificación de Fragmentos de Roca y Suelos*, M·MMP·1·12, *Valor Soporte de California (CBR) en el Lugar*, M·MMP·1·09, *Prueba de Compactación Dinámica* y M·MMP·1·10, *Grado de Compactación*.

E.4.4. Para bases, subbases y carpetas asfálticas

Se determinará la granulometría, el desgaste de los ángeles y el desgaste micro-deval de acuerdo con los Manuales M·MMP·4·04·002, *Granulometría de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas*, M·MMP·4·04·006, *Desgaste Mediante la Prueba de Los Ángeles de Materiales Pétreos para Mezclas Asfálticas* y M·MMP·4·04·007, *Resistencia a la Degradación por Abrasión del Material Pétreo con la Máquina Micro-Deval*.

E.4.5. Para carpetas asfálticas

Se determinará el contenido de cemento asfáltico de acuerdo con los Manuales M·MMP·4·05·048, *Contenido de Cemento o Residuo Asfáltico en Mezclas Asfálticas mediante la Recirculación de Disolventes en Caliente* o M·MMP·4·05·049, *Contenido de Cemento o Residuo Asfáltico en Mezclas Asfálticas mediante Extracción por Centrifugado*.

E.5. ELABORACIÓN DE MODELO GEOTÉCNICO-ESTRUCTURAL

- E.5.1.** El modelo geotécnico-estructural de un pavimento es la representación esquemática de las capas del pavimento y terracerías, determinadas a partir de la exploración geotécnica realizada directamente sobre el pavimento y pruebas en el sitio; en el modelo se consideran los espesores de las capas y las propiedades índice y constantes elásticas de los materiales de cada una de ellas, obtenidas del procesamiento e interpretación de pruebas de campo y laboratorio.
- E.5.2.** En la concepción del modelo será indispensable analizar el perfil estratigráfico que se indica en la Fracción E.4. de esta Norma, con la finalidad de efectuar una correlación entre espesores de capas, resultados de laboratorio y las características generales de la región, lo que permitirá definir el comportamiento mecánico del pavimento que se modela, con base en la mayor cantidad de variables que influyen en dicho comportamiento.
- E.5.3.** En el caso de pavimentos flexibles, los materiales que los integran se caracterizarán mediante los módulos de elasticidad obtenidos con pruebas de laboratorio y, cuando se requieran los CBR, estos serán determinados con pruebas de campo y también en laboratorio, de acuerdo con lo indicado en los manuales M·MMP·1·12, *Valor Soporte de California (CBR) en el Lugar* y M·MMP·1·11, *Valor Soporte de California (CBR) y Expansión (Exp) en el Laboratorio*, respectivamente; tratándose de pavimentos semirrígidos que tengan base estabilizada con cemento Pórtland, será necesario considerar la resistencia a compresión simple y para pavimentos rígidos se utilizará el módulo de ruptura (M_R) y el módulo de reacción (k) de la capa de apoyo.
- E.5.4.** Una vez efectuada la correlación mencionada en el Inciso E.5.2 de esta Norma, se representará en forma esquemática la sección transversal del pavimento que se considere como crítica, es decir, aquella que tenga espesores mínimos de capas y valores de resistencia también mínimos, señalando con precisión el tramo de la carretera donde se localiza la sección crítica del pavimento.

E.6. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL

Para la determinación de la capacidad estructural del pavimento, se considerará lo siguiente:

E.6.1. Revisión estructural

Se comparará el número de repeticiones de carga que soporta el pavimento (N_p) con el número de repeticiones de carga que genera el tránsito (N_t) en el año que se efectúa la determinación de la capacidad estructural. Se considerará que el pavimento presenta deficiencia estructural cuando N_p sea menor que N_t . En caso contrario, si N_p es mayor que N_t , el pavimento será estructuralmente suficiente.

E.6.2. Vida remanente

Se determinará el número de años que le restan al pavimento para llegar a su vida útil sin fallar, que es el tiempo en el cual N_t es igual a N_p , según el criterio de falla que establezca el método o métodos de cálculo utilizados, considerando que la vida útil de un pavimento flexible es de quince (15) años y la de un pavimento rígido es de treinta (30) años, a reserva de lo que estipulen los términos de referencia o lo que indique la Secretaría.

E.6.3. Refuerzo requerido

Se calculará el espesor de pavimento adicional al existente, que habría que colocar sobre el pavimento actual para recuperar o extender su vida remanente a la vida útil que se indica en el Inciso E.6.2. de esta Norma.

E.6.4. Salvo que los términos de referencia indiquen otra cosa o así lo apruebe la Secretaría, la capacidad estructural del pavimento se determinará con algún método de diseño estructural de pavimentos; para pavimentos flexibles se utilizará el *Método de Diseño del Instituto de Ingeniería de la UNAM* aplicable a carreteras normales y de altas especificaciones, empleando los criterios de diseño definidos en la Norma N·PRY·CAR·5·01·002, *Criterios Generales para el Diseño de Pavimentos Asfálticos*.

E.6.5. Para pavimentos rígidos o cuando alguna de las capas de un pavimento semirígido corresponda a una base estabilizada con cemento hidráulico, se empleará el método AASHTO, considerando los criterios de diseño definidos en la Norma N·PRY·CAR·5·01·002, *Criterios Generales para el Diseño de Pavimentos Asfálticos*.

E.6.6. Las cargas que se considerarán para la obtención de la capacidad estructural serán función del tipo de camino que se analiza y corresponderán a las que se indican en la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SCT-2-2017, *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* o la que la sustituya.

E.6.7. La determinación de la capacidad estructural se podrá realizar en forma manual o con algún programa de cómputo, en cualquier caso, se describirá en la memoria de cálculo descriptiva en forma breve y clara el significado de cada variable involucrada, su obtención y los criterios y consideraciones del analista.

E.7. DELIMITACIÓN DE LOS SUBTRAMOS HOMOGÉNEOS

Se determinarán de acuerdo con lo que se indica en la Fracción E.8. de la Norma N·CSV·CAR·1·03·001, *Ejecución de Estudios de Evaluación de Pavimentos*.

E.8. DIAGNÓSTICO DEL PAVIMENTO

De cada subtramo homogéneo, se determinará el estado actual que presenta el pavimento desde el punto de vista funcional y estructural, considerando las causas generadoras de dicho estado y tomando en cuenta toda la información recabada de la evaluación.

F. INFORME DE RESULTADOS

Contendrá una breve y clara descripción de los datos recabados en campo, referentes a las características más sobresalientes de la carretera y condiciones circundantes a las que hace referencia la Cláusula E. de esta Norma, destacando aspectos de los resultados de la exploración y de las pruebas de campo y laboratorio, así como la metodología para la elaboración del modelo geotécnico-estructural y un resumen de los resultados obtenidos. Además, incluirá lo siguiente:

F.1. La memoria de cálculo de la determinación de la capacidad estructural, describiendo con precisión, en forma breve y clara, el significado de cada una de las variables que considera el método de diseño estructural, explicando cómo se determinó cada una de dichas variables, así como una breve descripción de la metodología del criterio de diseño estructural utilizado.

F.2. Los resultados numéricos obtenidos de la determinación de la capacidad estructural de cada una de las secciones transversales analizadas del pavimento. Se presentarán de acuerdo con lo indicado en la Norma N·CSV·CAR·1·03·013, *Presentación de la Evaluación de Pavimentos*.

COMUNICACIONES

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES



SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA

Dirección General de Servicios Técnicos

Av. Coyoacán 1895

Col. Acacias, Benito Juárez, 03240

Ciudad de México

www.gob.mx/sct