LIBRO: MMP. MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBA DE MATERIALES

PARTE: ***4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS***

TÍTULO: 07. Superficie de Rodadura

CAPÍTULO: 024. Determinación de los Espesores de las Capas que Conforman la Estructura de los Pavimentos con Radar de Penetración Terrestre (GPR)

A. CONTENIDO

Este Manual describe el procedimiento para determinar, mediante el empleo de un radar de penetración terrestre (GPR, por sus siglas en inglés Ground Penetrating Radar), los espesores de las capas que conforman la estructura de un pavimento como terracerías, subbases, bases, carpetas asfálticas o losas de concreto.

B. OBJETIVO

COMUNICACIONES
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

Esta prueba permite determinar los espesores de las capas que conforman la estructura de un pavimento, por medio de la medición de la reflexión de las ondas electromagnéticas generadas con el equipo GPR.

C. REFERENCIAS

Es referencia de este Manual la norma ASTM D 4748-10, *Standard Test Method for Determining the Thickness of Bound Pavement Layers Using Short-Pulse Radar*, publicada por la American Society for Testing and Materials en 2020.

D. EQUIPO

El radar de penetración terrestre (GPR) utilizado para llevar a cabo la prueba se encontrará en óptimas condiciones de operación, debidamente calibrado y limpio. Para una referencia visual del equipo, se puede consultar la Figura 1 de este Manual.

D.1. VEHÍCULO

El vehículo designado para la instalación del equipo contará con las dimensiones adecuadas para fijar la antena, ya sea en la parte frontal o trasera. No se exigen requisitos específicos en cuanto al tipo de vehículo; no obstante, es habitual emplear una camioneta tipo Van para este propósito, siempre y cuando garantice espacio suficiente para la instalación del equipo y los accesorios en el exterior (como el sistema de sujeción de antenas). Asimismo, en su interior dispondrá de espacio adecuado para la instalación de computadora, unidad de control y cables.

El vehículo estará equipado con un motor, sistemas de dirección y componentes de suspensión de fabricación reciente, garantizando así una conducción suave, sin cambios bruscos en la velocidad o dirección durante el trayecto. Además, contará con luces intermitentes, elementos reflectantes y señalizaciones que lo identifiquen como un vehículo de pruebas.

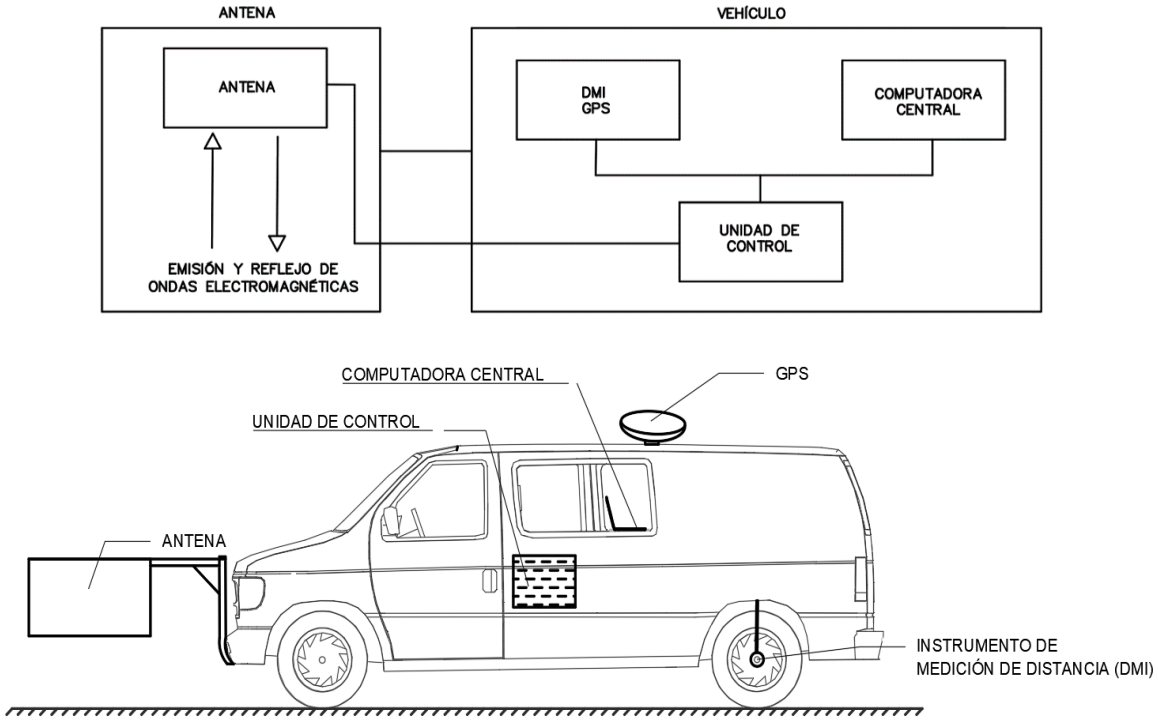

FIGURA 1.- Equipo de radar de penetración terrestre (GPR)

SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

D.2. ANTENA

Dispositivo de alta frecuencia, conectado a la unidad de control, que se posiciona en la parte frontal o trasera del vehículo mediante un soporte adaptado para tal fin. Un equipo GPR puede contar con una o más antenas de diferentes frecuencias, en función de las necesidades del proyecto. La frecuencia de operación de las antenas varía según las especificaciones del dispositivo, siendo necesario utilizar una frecuencia igual o superior a 750 MHz para el objetivo indicado en este Manual. Estas antenas tienen la función de emitir ondas electromagnéticas en forma de cono hacia el pavimento y registrar las ondas reflejadas provenientes de las discontinuidades internas, causadas por cambios en densidad y rigidez en las distintas capas del pavimento.

D.3. UNIDAD DE CONTROL

Dispositivo que tiene como función sincronizar las ondas electromagnéticas de los sistemas electrónicos de transmisión y recepción de las antenas. También tiene la función de amplificar y filtrar la señal recibida para posteriormente enviarla al dispositivo de registro, proceso, almacenamiento y visualización.

D.4. COMPUTADORA CENTRAL

Computadora con capacidades adecuadas para utilizar el software proporcionado por el proveedor del equipo para el registro, procesamiento y almacenamiento de los datos enviados por la unidad de control. La computadora central tendrá la capacidad de compartir los datos almacenados para su procesamiento en gabinete.

La visualización de los datos se presenta como un perfil continuo, donde el eje horizontal representa la distancia recorrida por el vehículo desde el inicio de la medición, mientras que el eje vertical indica el tiempo de recorrido vertical o la distancia vertical (profundidad) de la onda electromagnética, es decir, un radargrama.

D.5. DISPOSITIVO MEDIDOR DE DISTANCIA (DMI)

El dispositivo medidor de distancia (DMI, por sus siglas en inglés Distance Measurement Instrument) es un odómetro electrónico de alta precisión. Este dispositivo se vincula a un sensor en el vehículo de medición de distancia, integrado a la rueda o a alguna parte de la carrocería. La información recopilada por el odómetro se transmite a la computadora central para su proceso y almacenamiento.

D.6. INSTRUMENTO DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS

Ofrecerá una precisión mínima de ± 3 m en modalidad de navegación y de ± 1 cm en modo estático. Cumplirá con el protocolo NMEA 0183.

El equipo tendrá capacidad para que los datos generados durante los recorridos se generen en coordenadas geográficas y UTM (Universal Transverse Mercator), así como la distancia longitudinal recorrida.

E. CALIBRACIÓN

El equipo, el sistema y sus componentes se someterán a calibraciones y verificaciones periódicas, particularmente al llevar a cabo sustituciones, reparaciones o modificaciones significativas que puedan afectar la configuración de calibración del dispositivo. La calibración y verificación del sistema se realizarán de acuerdo con las recomendaciones y especificaciones proporcionadas por el fabricante. Las siguientes son recomendaciones que se sugieren en el inciso 5.4 de la norma ASTM D 4748-10, *Standard Test Method for Determining the Thickness of Bound Pavement Layers Using Short-Pulse Radar*.

Asimismo, previo a la calibración y ejecución de los ensayos se realizará el siguiente procedimiento: i) inspeccionar de manera general el equipo, comprobando el correcto estado de las conexiones, la limpieza de los emisores, el estado físico de los cables que conectan a las antenas, la unidad de procesamiento de datos, así como que el equipo esté bien colocado y fijo en el vehículo; ii) conectar los componentes electrónicos y mecánicos requeridos en el sistema; iii) encender el equipo y dejar calentar durante un mínimo de 15 min y iv) revisar nuevamente que los sistemas que integran el equipo se encuentren funcionando correctamente y, de ser así, se procede a las calibraciones indicadas.

E.1. CON PLACA DE METAL

E.1.1. La placa plana de metal refleja todas las ondas electromagnéticas que emiten las antenas del GPR al hacer contacto con la superficie, es decir, la placa refleja las ondas con la misma potencia de onda emitida hacia la superficie del pavimento. Las ondas electromagnéticas reflejadas en la placa plana se utilizan como una señal base de reflejo de ondas electromagnéticas para eliminar, en caso de ser necesario, el eco del rebote de las ondas sobre la superficie.

E.1.2. El proceso de calibración de placa de metal es el siguiente: i) con el vehículo detenido y con la antena apuntando hacia abajo, se colocará una placa de metal, de dimensiones mínimas de 1 m por 1 m, sobre el suelo centrada debajo de la antena; ii) se inicia el procedimiento de calibración correspondiente, con la ayuda del software proporcionado por el proveedor del equipo y iii) los datos recopilados se guardarán en un archivo de calibración, a partir del cual se realizan automáticamente las correcciones aplicables durante las mediciones.

E.1.3. En caso de que el equipo cuente con varias antenas de medición, realizar la acción antes mencionada con cada antena.

E.2. CALIBRACIÓN DE ESPACIO LIBRE

La calibración de espacio libre se refiere a la definición de la velocidad de onda de la señal viajando en el aire. Para esta calibración, el vehículo con el equipo GPR estará detenido con las antenas apuntando hacia arriba en un espacio abierto. Posteriormente se iniciará la rutina del software del equipo para la calibración correspondiente para realizar toma de datos. Los datos obtenidos se guardarán en un archivo de calibración de espacio libre.

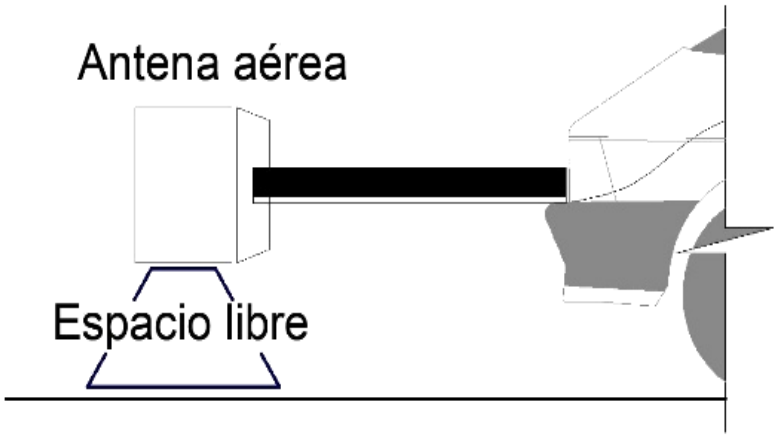

FIGURA 2.- Definición de espacio libre

COMUNICACIONES

E.3. CALIBRACIÓN DEL DISPOSITIVO MEDIDOR DE DISTANCIA (DMI)

E.3.1. Para la calibración del indicador de distancia es necesario contar con una vialidad recta y plana con una longitud de al menos 1 km. Con la ayuda de un dispositivo de medición de distancia (longímetro o distanciómetro), se marcan claramente los puntos de inicio y fin del tramo. Es importante hacer notar que el dispositivo de medición de distancia que se utilice tendrá una precisión igual o superior a la especificada para el DMI del radar para poder asegurar resultados satisfactorios.

E.3.2. Una vez marcado el inicio y fin del tramo de calibración de longitud mínima de 1 km, se posiciona el equipo en el inicio del tramo de referencia y se inicia el programa de calibración de distancia en el software del GPR. Posteriormente se circula el vehículo a través de la distancia previamente fijada a una velocidad de 40 km/h, hasta llegar al punto final del tramo. Finalmente se indica en el software del equipo que el vehículo llego al final y se registra la distancia medida.

E.3.3. Se realiza el procedimiento de calibración descrito por lo menos 4 veces y se calcula un promedio de las 4 lecturas. La distancia promedio obtenida no será mayor que 0,1 % la distancia de referencia. Si las lecturas se encuentran fuera del rango indicado, se revisará el sistema de medición como lo indica el fabricante y se realizará la calibración, tantas veces sea necesario, hasta llegar al resultado aceptable.

F. COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO

Revisar que el equipo esté conectado correctamente y que todos sus componentes funcionen de manera apropiada. Es recomendable realizar una medición de prueba para asegurarse del correcto funcionamiento del equipo y detectar alguna falla en el sistema antes de ejecutar los ensayes. Una vez realizado lo anterior, se procede a ejecutar el procedimiento de medición indicado en la siguiente Cláusula.

G. PROCEDIMIENTO DE LA MEDICIÓN

G.1. La zona de prueba estará despejada de obstáculos que puedan obstruir el paso del equipo, así como de objetos que se encuentren sobre la superficie del pavimento que puedan afectar los resultados.

G.2. Se iniciará el software del equipo para la adquisición de datos y se ingresarán los detalles solicitados para establecer de manera precisa la configuración del equipo, así como la información del proyecto y tramo de prueba. Es esencial definir el intervalo de distancia en el cual el GPR capturará la información, se sugiere que sea a cada 20 m.

G.3. El equipo se posicionará en el inicio del tramo de prueba y se comenzará la medición, siguiendo las instrucciones indicadas en el software del equipo. Durante la evaluación o medición en el carril designado, el operador se asegurará que ésta se realice tan cerca como sea posible de la huella externa establecida por el tránsito.

G.4. Este procedimiento se seguirá en cada medición de los diferentes tramos de estudio o evaluación hasta concluirlos en su totalidad.

H. CONDICIONES PARA LA EJECUCIÓN DE LA PRUEBA

H.1. Como medida de seguridad, siempre que se utilicen equipos de alto rendimiento, el vehículo de medición se dotará como mínimo con los siguientes aditamentos: torreta o barra de luces de color ámbar, marcas reflejantes en los costados y partes delantera y trasera (incluyendo las defensas) y rótulos en los que se indique que el equipo se encuentra realizando tareas de evaluación de pavimentos.

H.2. Independientemente del equipo utilizado, el personal encargado de los trabajos de campo portará chalecos de seguridad reflejantes.

H.3. En lo que concierne a las condiciones ambientales, los trabajos no podrán llevarse a cabo o se interrumpirán en presencia de lluvia, neblina o vientos fuertes.

I. CÁLCULOS Y RESULTADOS

Una vez realizados los trabajos en campo, la información obtenida se procesa en gabinete de la siguiente manera:

I.1. Los datos recopilados en campo se importarán del sistema de recopilación del equipo a un sistema de cómputo en gabinete. También es posible procesarlo directamente en el equipo, sin embargo, es recomendable realizarlo en un equipo independiente.

I.2. El software del equipo entregará los resultados con los que se crearán los radargramas, como el mostrado en la Figura 3 de este Manual. Los radargramas se grafican en una escala de tiempo (ns) o de profundidad (cm) contra distancia recorrida (m). Los radargramas pueden mostrarse en una gama de 16 tonos en gris o en 256 a colores.

I.3. El proceso de información se realizará en dos etapas. La primera consiste en efectuar una corrida con el software del proveedor del equipo, que permitirá conocer una primera estratigrafía de las capas del pavimento. En la segunda etapa se realizará un ajuste de la estratigrafía con los datos de los espesores de las capas del pavimento obtenidas mediante sondeos simplificados. Con esta adición de los datos de las capas, se realizará una segunda corrida para obtener la estratigrafía definitiva.

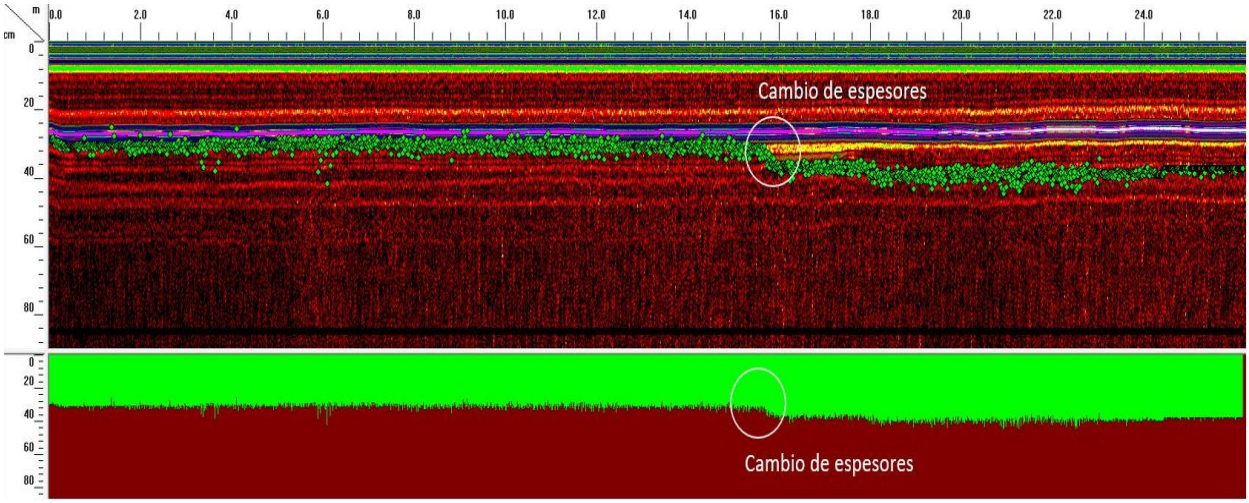

FIGURA 3.- Ejemplo de radargrama a color

I.4. Una vez que se concluyó con la interpretación de los radargramas, se crean los reportes necesarios, donde se representen los espesores de las capas del pavimento. Se sugiere presentar en forma gráfica en escala de distancia (m) contra profundidad (cm), como la mostrada en la Figura 4 de este Manual.

I.5. La profundidad alcanzada por el radar GPR puede variar según el fabricante y el tipo de antena utilizada, se sugiere realizar la medición con antenas de diferentes frecuencias para alcanzar diferentes profundidades, si así lo requiere el estudio.

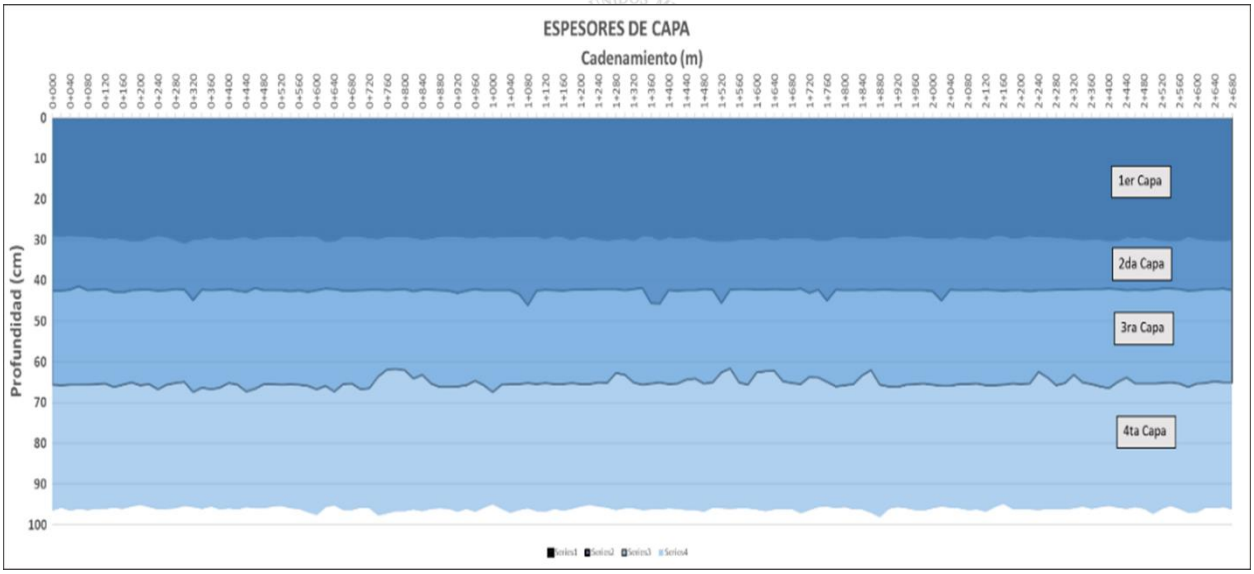

FIGURA 4.- Gráfica de espesores de capas

J. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Se presentará un informe de trabajos conciso, integrado por los conceptos que se indican en las siguientes fracciones.

J.1. NOMBRE DEL ESTUDIO

Denominación del servicio, según lo indicado en los términos de referencia elaborados por la Secretaría.

J.2. IDENTIFICACIÓN DEL TRAMO

J.2.1. Nombre y clave de la carretera a la que pertenece el tramo, los cuales serán congruentes con la nomenclatura de la Dirección General de los Servicios Técnicos.

J.2.2. Kilómetro de inicio y kilómetro final.

J.2.3. Ubicación georreferenciada del tramo, sentido y carril.

J.3. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL TRAMO

J.3.1. Longitud total.

J.3.2. Tipo de pavimento existente, indicando las variaciones detectadas durante la medición.

J.3.3. Número de carriles por sentido de circulación, señalando los cambios de configuración de la calzada observados.

J.4. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS TRABAJOS EFECTUADOS

J.4.1. Características del equipo de medición utilizado, incluyendo información sobre su calibración.

J.4.2. Detalles del procedimiento de medición utilizado.

J.4.3. Relación de cualquier situación adversa que se hubiera presentado durante la ejecución de los trabajos, puntualizando el impacto de tales situaciones sobre los resultados del estudio.

COMUNICACIONES
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

J.5. RESULTADOS OBTENIDOS

J.5.1. Radargramas, como el mostrado en la Figura 3 de este Manual.

J.5.2. Gráficas, como la mostrada en la Figura 4 de este Manual.

J.5.3. Tablas de datos que contengan los espesores.

J.5.4. Interpretación y evaluación de los resultados.

K. PRECAUCIONES PARA EVITAR ERRORES

Durante la medición, la persona encargada de operar el GPR:

K.1. Se asegurará que las antenas estén separadas a una distancia mínima de 30 cm o de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, incluso si están aisladas. Además, comprobará que no haya piezas metálicas cercanas a las antenas.

K.2. Llevará a cabo la medición evitando cualquier fuente de radiocomunicación. Asimismo, no portará consigo dispositivos electrónicos de telefonía móvil o los utilizará en modo avión.

K.3. Informará sobre los lugares donde haya concentraciones de magnetismo, como líneas de alta tensión, subestaciones eléctricas o estaciones de radio, entre otros.

K.4. Evitará realizar mediciones durante el paso de camiones doblemente articulados, ya que pueden interferir en la medición.

K.5. Comprobará que los datos recopilados durante el proceso estén completos y que los radargramas sean claramente visibles. En caso contrario, se repetirá la medición.

L. BIBLIOGRAFÍA

American Society for Testing and Materials (2011). ASTM D 6432-11. *Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation*.

American Association of State Highway and Transportation Official (2018). AASHTO R37-04. *Standard Practice for Application of Ground Penetrating Radar (GPR) to Highways*.

COMUNICACIONES
SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

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