



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO**



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**EVALUACIÓN, ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LA VIDA
REMANENTE DEL PAVIMENTO MEDIANTE LA AUSCULTACIÓN
CON EL GROUND PENETRATING RADAR (GPR) EN LA CARRETERA
NUEVO LAREDO – CD ACUÑA.**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN VÍAS TERRESTRES

PRESENTA:

ING. JAVIER CABRERA MARTÍNEZ

DIRECTOR DE TESINA: ING. ERNESTO RENÉ MENDOZA SANCHEZ

MÉXICO, D.F.

OCTUBRE 2013



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**EVALUACIÓN, ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LA VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO
MEDIANTE LA AUSCULTACIÓN CON EL GROUND PENETRATING RADAR (GPR) EN LA
CARRETERA NUEVO LAREDO – CD ACUÑA**

ÍNDICE.

1.- INTRODUCCIÓN.	3
2.- GENERALIDADES.	6
2.1.- Definiciones.	6
2.1.1.- Terracerías.	6
2.1.2.- Pavimento Flexible.	8
2.1.3.- Pavimento Rígido.	9
3.- DETERMINACIÓN DE ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.	11
3.1.- Objetivo del estudio.	11
3.2.- Trabajos de Campo.	12
3.2.1.- Ground Penetrating Radar.	12
3.2.2.- Deflectómetro de Impacto.	16
3.2.3.- Sondeos de exploración.	18
4.- Procesamiento de la Información.	22
4.1.- Determinación de zonas homogéneas.	22
4.2.- Obtención de deflexiones.	23
4.3.- Obtención de módulos de elasticidad.	24
5.- EJEMPLO DE CASO	27
5.1.- Carretera Nuevo Laredo-Ciudad Acuña.	27
6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	34
7.- BIBLIOGRAFÍA.	36
8.- ANEXOS	37

I.-INTRODUCCIÓN

La Universidad Nacional Autónoma de México a través de su Facultad de Ingeniería en busca de la formación de profesionales especializados en las distintas áreas de la ingeniería Civil se dio a la tarea de lanzar el Programa Único de Especialidades en Ingeniería, dentro de las cuales se encuentra la Especialidad en Vías Terrestres.

Dentro de los tópicos tratados en la Especialidad en Vías Terrestres se encuentra el de la Conservación y Mantenimiento de Vías Terrestres, en la actualidad existen diferentes métodos para determinar las condiciones estructurales de los pavimentos, su estado físico y sus estándares de servicio, es aquí donde la ingeniería interviene en implementación de estrategias, asignar recursos y elaborar programas de conservación, mantenimiento y/o reconstrucción de alguna carretera.

Es muy conocido para quienes están en el medio, que un camino en buen estado requiere trabajos de conservación sencillos y de bajo costo. A medida que el deterioro avanza, la conservación es cada vez más costosa y compleja. De ahí la importancia de no dejar que los caminos se deterioren más allá de una condición satisfactoria.

La curva de deterioro de los pavimentos indica que cuando es bueno el estado físico de un pavimento, el deterioro es lento y poco visible, después el pavimento entra en una etapa crítica y en seguida en otra de deterioro acelerado, que en poco tiempo conduce a una descomposición total. Si los caminos se conservan en buen estado, los trabajos requeridos son de conservación rutinaria y bajo costo. Pero si el deterioro se incrementa, se requieren trabajos costosos y complejos para restituir el buen estado de los pavimentos.

Figura 1.

La evaluación estructural de pavimentos consiste, básicamente, en la determinación de la capacidad estructural del pavimento en una carretera existente, en cualquier momento de su vida, para establecer y cuantificar las necesidades de rehabilitación, cuando el pavimento se acerca al fin de su vida útil o cuando el pavimento va a cambiar su función (un nuevo tipo de avión en un aeropuerto existente, por ejemplo). Las necesidades de

evaluar estructuralmente los pavimentos de una red aumentan a medida que se completa el diseño y la construcción de una red vial nacional o regional y consecuentemente aumenta la necesidad de su preservación y rehabilitación.

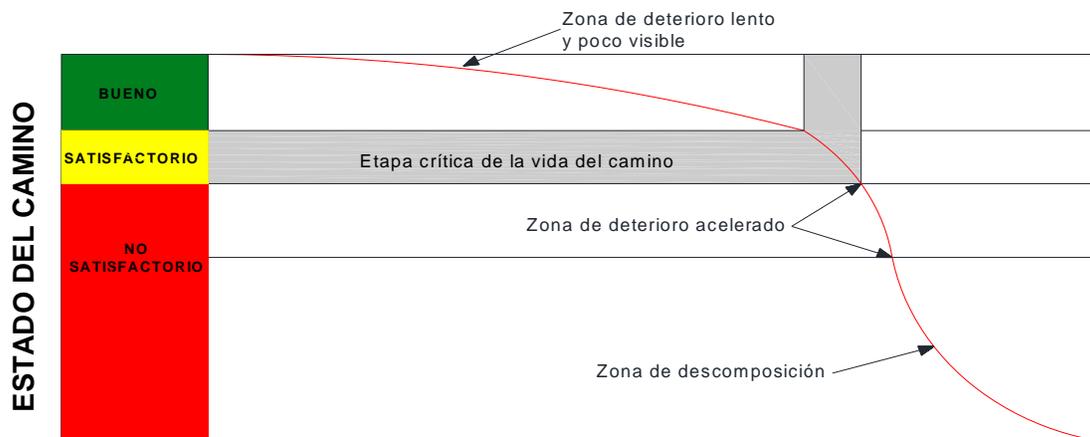


Fig. 1.- Gráfico comparativo del estado del camino a lo largo del tiempo.

En la actualidad existen diferentes métodos para evaluar la capacidad estructural de los pavimentos, lo anterior con la finalidad de definir su aptitud para resistir las cargas que circulan por diversos tramos carreteros.

La evaluación de la capacidad estructural en pavimentos se realiza utilizando predominantemente métodos no destructivos, los cuales consisten en aplicar una carga bajo condiciones dinámicas, estáticas, por impacto, cuyos resultados ayudan a determinar en cada estructura del pavimento, las deformaciones o deflexiones asociadas a la sollicitación inducida, y así poder definir su capacidad para soportar las cargas vehiculares.

La auscultación de la considera también los aspectos de carácter funcional y estructural de las carreteras. El análisis funcional se centra en los elementos que brindan confort al usuario y que de alguna manera inciden en la calidad del viaje y seguridad del mismo, ya que sin confort no hay seguridad y viceversa. En cuanto a los aspectos estructurales, se analiza el deterioro de los pavimentos que no son atendidos de forma oportuna,

provocando en el largo plazo daños en la superficie de rodamiento de las carreteras y afectando con ello la seguridad del usuario

El presente trabajo describe un conjunto de actividades que se realizaron en la Red Federal de Carreteras del País durante el segundo semestre del año 2012 para determinar los espesores y características de los materiales que conforman las diferentes estructuras de los pavimentos de nuestras carreteras, con la finalidad de evaluarlas y hacer un pronóstico en su vida remanente, con la información que se recabó se generaron una serie de base de datos en las cuales están contenidas las variables o parámetros necesarios para la evaluación. Se obtuvieron datos estadísticos como los TDPA y se calcularon los ejes equivalentes (ESAL'S), también se calcularon los módulos de elasticidad de las distintas capas, que relacionándolas con las deflexiones se puede hacer un pronóstico en la vida remanente de los pavimentos.

Este estudio se realizó tanto en pavimentos flexibles como rígidos, fue todo un reto plantear la logística para el desarrollo y conclusión del mismo, se evaluaron más de 44 000 km de carretera, se necesitaron más de seis meses para cubrir todo el territorio nacional, se vivieron momentos difíciles por cuestiones de la inseguridad sobre todo en el norte del país, debido a los alcances del presente trabajo solo se describirá el proceso para una carretera en particular "Nuevo Laredo – Cd. Acuña en el estado de Coahuila" El Informe final y completo es propiedad de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

2.-GENERALIDADES

2.1 DEFINICIONES

TERRACERÍAS.

Las terracerías pueden ser definidas como los volúmenes de materiales que se extraen o sirven de relleno para la construcción de una vía terrestre; la extracción puede hacerse a lo largo de la línea de la obra y si este volumen se usa en la construcción de los terraplenes o los rellenos, se dice que se tienen terracerías compensadas; el volumen de corte que no se usa, se denomina desperdicio. Si el volumen que se extrae en la línea no es suficiente para construir los terraplenes o los rellenos, se necesita extraer material fuera de ella o sea en zonas de préstamos; si estas zonas están cercanas a la obra, del orden de los 10 a los 100 m a partir del centro de la línea, se llaman préstamos laterales; si estas zonas se encuentran a más de 100 m son préstamos de banco.

Las terracerías en terraplén se dividen en dos zonas; el cuerpo del terraplén que es la parte inferior, y la capa subrasante que se coloca sobre la anterior; con un espesor mínimo de 30 cm. A su vez, cuando el tránsito que va a operar sobre el camino es mayor a 5000 vehículos diarios, al cuerpo del terraplén se le colocan los últimos 50 cm, con material compactable, y esta capa se denomina capa subyacente.

La finalidad de esta parte de la estructura de una vía terrestre es dar la altura necesaria para satisfacer principalmente las especificaciones geométricas, sobre todo en lo relativo a pendiente longitudinal, la de resistir las cargas del tránsito transferidas por las cargas superiores, y distribuir los esfuerzos a través de su espesor, para transmitirlos, en forma adecuada, al natural de acuerdo a su resistencia.

PAVIMENTOS.

Un pavimento puede definirse como la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendida(s) entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, cuyas principales funciones son las de proporcionar una superficie de

rodamiento uniforme, de color y textura apropiados, resistente a la acción del tránsito a la del intemperismo y otros agentes perjudiciales, así como transmitir adecuadamente a las terracerías los esfuerzos producidos por las cargas impuestas por el tránsito. En otras palabras

TIPO DE FALLAS EN LOS PAVIMENTOS.

Falla Estructural.- Es una deficiencia del pavimento que ocasiona, de inmediato o posteriormente, una reducción en la capacidad de carga de éste. En su etapa más avanzada, la falla estructural se manifiesta en la obstrucción generalizada del pavimento, a la que se asocia precisamente el índice de servicio, no necesariamente implica una falla estructural inmediata, ya que lo primero es consecuencia de su incapacidad para soportar las cargas de proyecto.

La identificación de una falla, que es definir su tipo y la causa que lo ha provocado, a veces es una cosa relativamente sencilla y obvia para personas experimentadas en el ramo de la construcción de carreteras. En otros casos es necesario llevar a cabo un reconocimiento completo de la zona fallada, que abarque las distintas partes que formen la estructura de la obra y hacer una serie de estudios y sondeos, recabar antecedentes de construcción, etc. Para así poder definir el origen de los deterioros y corregirlos oportunamente.

Las fallas las podemos clasificar tomando en cuenta el elemento estructural donde se originan:

- ◆ Fallas atribuibles a la carpeta.
- ◆ Fallas originadas en la interface, carpeta-base como consecuencia de una interacción inadecuada, esto es, un mal acoplamiento entre el material de base y la carpeta.
- ◆ Fallas originadas en la base, sub-base o terracerías, como consecuencia de la inestabilidad de una o varias de estas capas.
- ◆ Fallas originadas por la repetición de cargas.
- ◆ Fallas ocasionadas por los agentes climatológicos.

FALLA FUNCIONAL.- Los aspectos más importantes del pavimento que intervienen en el valor del índice de servicio actual son:

- ◆ Las ondulaciones longitudinales.
- ◆ Las deformaciones transversales.
- ◆ La textura de la superficie.
- ◆ El porcentaje de baches y áreas reparadas.

La falla funcional en sí, consiste en deficiencias superficiales del pavimento a las que se asocian precisamente el índice de servicio, que afectan en mayor o menor grado la capacidad del camino en proporcionar al usuario un tránsito cómodo y seguro.

Los dos tipos de fallas no están necesariamente relacionados, pero pueden establecerse que cuando se presenta una falla estructural, también ocurrirá en un plazo mas o menos corto la falla funcional. En ocasiones una falla funcional que no se atiende a su debido tiempo, puede también conducir a una falla estructural.

Índice de servicio. Es una medida subjetiva, de la calificación del estado de servicio de la capa de rodamiento, obtenida por cuatro personas en un vehículo estándar a 80 km/hr, suponiendo un recorrido de 80 kms por día, donde la calificación entre una y otra persona, para que sea válida, no debe diferir de 0.3 unidades y la escala que se maneja es de 0 a 5, siendo:

0 - 1 Muy malo

1 - 2 Malo

2 - 3 Regular

3 - 4 Bueno

4 - 5 Muy bueno.

PAVIMENTO FLEXIBLE

Pavimento flexible también conocido como asfáltico, está construido con materiales débiles y menos rígidos (que el concreto), más deformables, que transmiten a la

subrasante las cargas de manera más concentrada, distribuyendo el total de la carga en menos área de apoyo. Por lo tanto, el pavimento flexible normalmente requiere más capas y mayores espesores para resistir la transmisión de cargas a la subrasante.

En general, los pavimentos flexibles están constituidos por una capa delgada de mezcla asfáltica construida sobre una capa de base y una capa de sub-base las que usualmente son de material granular, estas capas descansan en una capa de suelo compactado, llamada subrasante, en las capas superiores donde los esfuerzos son mayores, se utilizan materiales con mayor capacidad de carga y en las capas inferiores donde los esfuerzos son menores, se colocan materiales de menor capacidad. El uso de materiales con menor requerimiento permite el uso de materiales locales, dando como resultado diseños más prácticos (Fig.2).

PAVIMENTO RÍGIDO

La superficie de rodamiento de un pavimento rígido es proporcionada por losas de concreto hidráulico, las cuáles distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las adyacentes, que trabajan en conjunto con la que recibe directamente las cargas. Este tipo de pavimento no puede plegarse a las deformaciones de las capas inferiores sin que se presente una falla estructural.

Aunque en teoría las losas de concreto hidráulico pueden colocarse en forma directa sobre la subrasante es necesario construir una capa de sub-base para evitar que los finos sean bombeados hacia la superficie de rodamiento al pasar los vehículos, lo cual puede provocar fallas de esquina o de orilla en la losa. La sección transversal de un pavimento rígido está constituida por la losa de concreto hidráulico y la sub-base que se construyen sobre la capa subrasante. Figura 2.

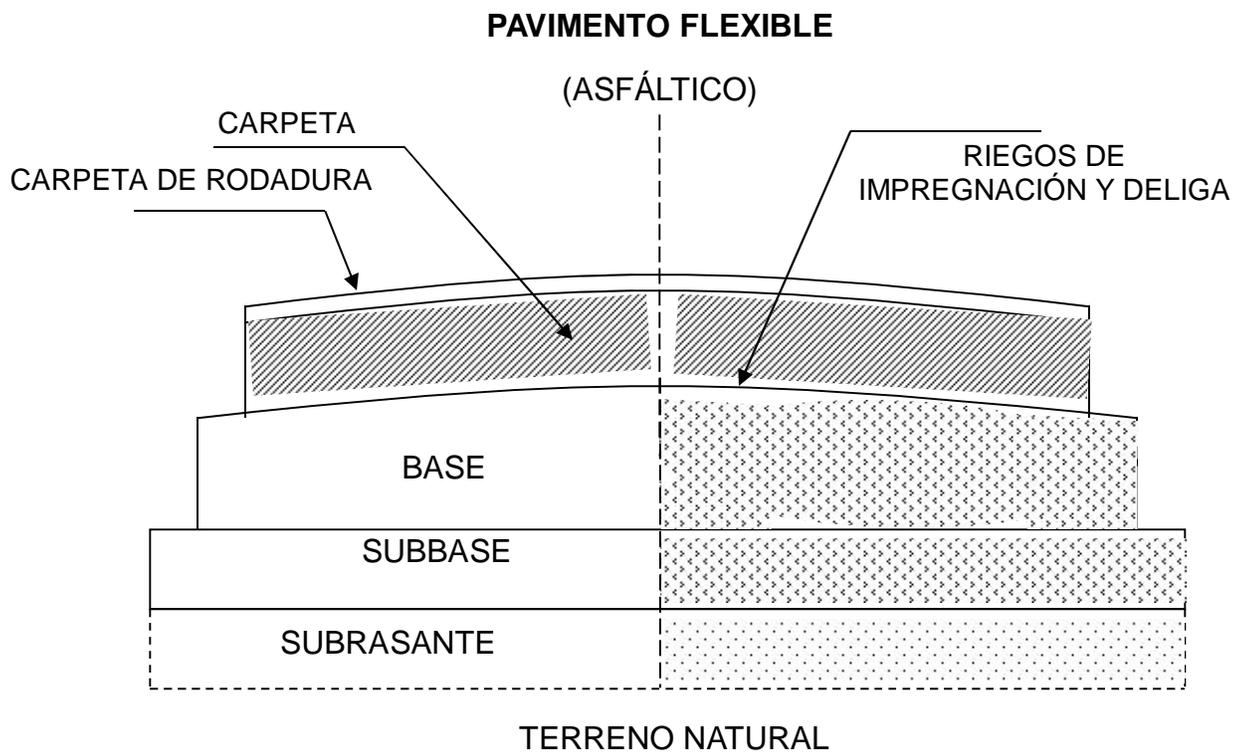


Figura 2. Capas constitutivas de un Pavimento Flexible.

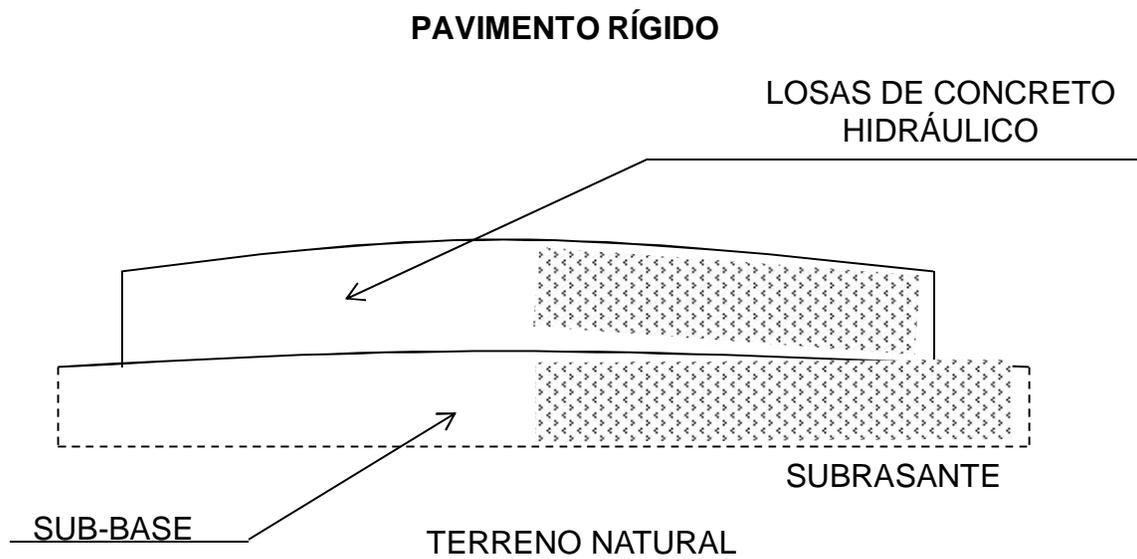


Figura 3.- Capas constitutivas de un Pavimento Rígido.

3.- DETERMINACIÓN DE ESPESORES DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO.

3.1 Objetivo de Estudio.

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes ha realizado la medición de varios parámetros superficiales y estructurales de la Red Carretera Federal, a partir de 1999 en la red de autopistas de cuota y desde 2000 en la red básica. También ha llevado algunos estudios aislados relativos a la textura y los deterioros de ambas redes. En materia de seguridad vial, los trabajos realizados se pueden considerar como acciones de índole reactiva, atendiendo los puntos negros de la red, sin embargo, no se elaboraron estudios integrales para mejorar la seguridad vial y en particular, a identificar soluciones que salven vidas ante la ocurrencia de un accidente, como la construcción de acotamientos, mejorar el señalamiento de tránsito, colocar barreras de seguridad, etc.

Por lo anterior, en el marco de sus atribuciones, en 2012, la Dirección General de Servicios Técnicos implementó el Programa de Auscultación de la Red Carretera Federal, con el objetivo de determinar sus condiciones funcionales, estructurales y de seguridad vial, atendiendo a lo estipulado en la Normativa para la Infraestructura del Transporte y considerando las experiencias nacionales e internacionales en la materia, a efecto de que se cuente con mayor información para definir las soluciones más convenientes en la modernización y conservación del patrimonio vial a cargo de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

La auscultación se integra por tres líneas de trabajo: en la primera se evalúan los aspectos que inciden en la seguridad vial; en la segunda se clasifica a la red de acuerdo al nivel de servicio, seguridad y confort que brinda al usuario; en la tercera se determinan los elementos que componen la estructura de los pavimentos con objeto de definir los módulos de elasticidad y pronosticar su vida útil.

En 2013 se evaluará la red secundaria libre y las principales carreteras estatales que se conectan a la red troncal con objeto de favorecer el flujo de mercancías y personas de

diferentes ciudades y comunidades hacia los principales centros de actividad económica del país.

3.2 Trabajos de campo.

Como primer paso, se conceptualizó el objetivo del estudio para poder plantear las estrategias, el número de personas y equipo necesarios para la realización del mismo, se plantearon los distintos panoramas y priorizando actividades dentro de la ruta crítica y se determinaron las principales actividades en campo las cuales son:

- Auscultación con el Ground Penetrating Radar (GPR).
- Medición de deflexiones mediante Deflectómetro de Impacto.
- Realización de sondeos directos sobre la superficie de rodamiento.

3.2.1.- SISTEMA RADAR DE PENETRACION TERRESTRE GPR

El Radar de Penetración Terrestre, comúnmente conocido como GPR es un dispositivo electromagnético de alta frecuencia (de 50 a 1600 MHz), con capacidad de adquirir gran cantidad de información en un período corto de tiempo, convirtiéndolo en un método eficiente, en lo que a costos se refiere, en sus diversas variantes y aplicaciones. El sistema genera una imagen del subsuelo que a primera vista se asemeja a la obtenida por un sonar para determinar la profundidad del agua y/o bien a la de una sección sísmica obtenida mediante detonaciones impulsivas en superficie. A diferencia de estos otros métodos, el Radar Terrestre utiliza como fuente transmisora una antena electromagnética emitiendo una señal a una frecuencia fija que puede penetrar sedimentos, roca, concreto, hielo u otros tipos de materiales naturales o artificiales, convirtiéndolo en un método de gran utilidad en aplicaciones geotécnicas y de estudios medio ambientales. Figura 4.



Figura 4. Radar de Penetración Terrestre. GPR.

Aplicaciones Generales

- En construcción e ingeniería en general
- En auditorías medio ambientales y evaluación de sitios
- En evaluación de sitios industriales en uso o abandonados
- En estudios de pre-factibilidad y correctivos en áreas sensibles
- En estudios geológicos
- En estudios arqueológicos

Principios de Operación

La recolección de datos con los equipos GPR se hace a través de pares de antenas de radar, una de las cuales transmite pulsos cortos de ondas electromagnéticas hacia el pavimento. A medida que esta energía viaja hacia abajo en la estructura del pavimento, se generan ecos en las interfaces de materiales con propiedades diferentes. El tiempo de llegada y la fuerza de estos ecos, detectados por la otra antena receptora, se utilizan para calcular el espesor de las capas del pavimento y otras propiedades. Figura 5

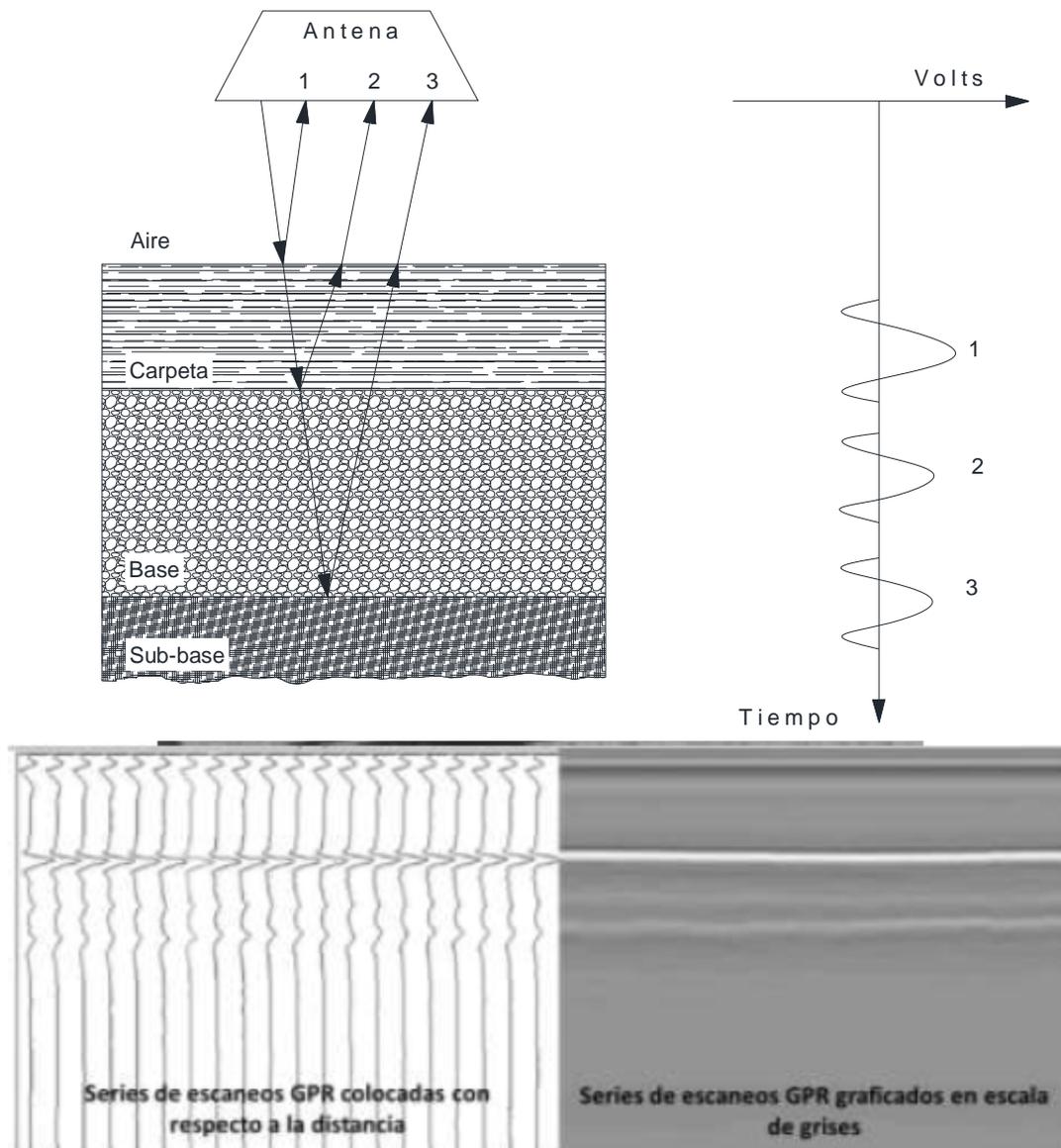


Figura 5. Esquema de funcionamiento y registro del GPR.

En general, el radar de penetración superficial ha sido utilizado para la medición continua de los espesores del pavimento. Mediante análisis más detallados, pero de menor precisión, en algunos casos se han detectado zonas con problemas especiales (humedad excesiva, oquedades, baja compactación, etc.). Por tal motivo, se debe poner énfasis en que la aplicación más exacta y comprobada de los sistemas GPR corresponde a la medición de espesores.

Una antena de GPR abarca una franja continua de 15 cm en cada inspección. Sin embargo, los resultados obtenidos corresponden realmente a un perfil que se genera a partir de las mediciones en esta franja relativamente angosta. El equipo puede ser movido lateralmente en el mecanismo de sujeción para inspeccionar diferentes franjas en recorridos sucesivos. En los sitios en que se presentan dudas sobre la interpretación de los resultados, se pueden tomar mediciones estacionarias, para las cuales se requiere detener o desviar el tránsito.

Por otra parte, de acuerdo con las experiencias publicadas en el medio nacional e internacional, actualmente no es factible considerar que con la utilización del GPR se pueden eliminar completamente los sondeos o las "calas", a menos que se tengan datos históricos confiables de la estructura del pavimento. En general, con estos equipos se puede aumentar el espaciamiento entre las "calas ó sondeos directos", pero éstas son un **elemento indispensable**, en ausencia de información histórica confiable, para validar los resultados obtenidos del proceso de los datos del radar de penetración superficial.

En general, en lo que concierne a la evaluación de pavimentos, las principales aplicaciones de los sistemas GPR son las siguientes:

- División del pavimento en tramos homogéneos, desde el punto de vista de la variación de las imágenes de radar.
- Medición continua del espesor de las principales capas del pavimento, hasta una profundidad de un metro (1.0 m), en casos ideales. El espesor mínimo detectable para cualquier capa es de 5.0 cm y la precisión del cálculo de espesores disminuye con la profundidad del pavimento.
- Selección de sitios para la realización de sondeos o de "calas", principalmente para despejar dudas sobre problemas puntuales del pavimento.
- Detección de instalaciones subterráneas.
- Generación de insumos básicos para el cálculo de espesores de estrategias de rehabilitación y reconstrucción de los pavimentos en servicio.

- Identificación, aunque con mayor incertidumbre, de zonas con problemas aislados en el pavimento (oquedades, alta humedad, etc.).

En cuanto a los rendimientos del radar de penetración, no se puede establecer un intervalo típico de valores, dado que cada caso analizado puede requerir algunas variantes en las actividades de interpretación. Normalmente se requiere un esfuerzo mucho mayor en la interpretación de resultados que en la recolección de datos.

3.2.2 DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO

A nivel mundial se cuenta con una gran cantidad de equipos para determinar deflexiones en campo, sin embargo, los de mayor uso son los deflectómetros de impacto. Estos equipos aplican una sollicitación al pavimento por impacto y determinan una cuenca de deflexiones a partir de datos de desplazamiento, obtenidos por un arreglo de sensores de desplazamiento. Dicho arreglo se establece en función del tipo de pavimento que se intenta evaluar y del fin que se persiga con la evaluación. Figura 6.

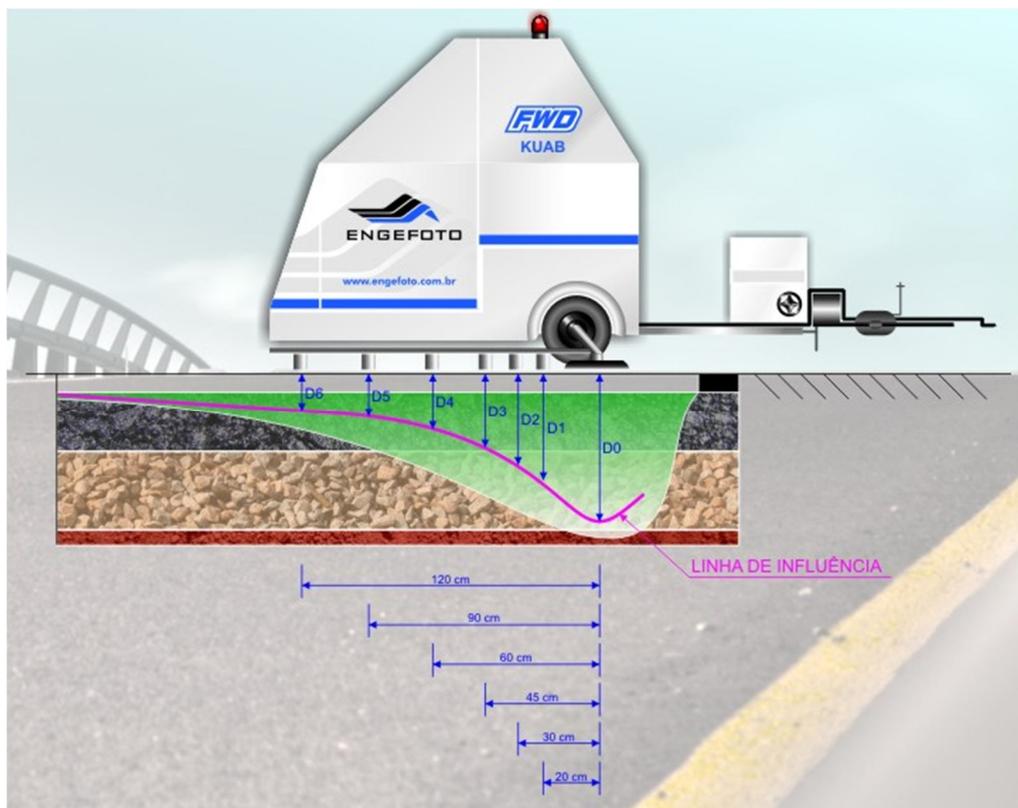


Figura 6. Esquema del funcionamiento del FWD

La literatura especializada en pavimentos proporciona información acerca de la medición de deflexiones en pavimentos localizadas directamente en el punto de aplicación de la carga o alejadas de él, a partir de una carga estática conocida, de una vibratoria o de una por impulso. Las deflexiones se miden con transductores que determinan el movimiento vertical de la superficie de un pavimento ante un impacto. Actualmente, existen diversos procedimientos para la medición de deflexiones en pavimentos de concreto asfáltico, en concreto hidráulico, e incluso en una combinación de ellos. Los pavimentos rígidos pueden ser sin refuerzo, una con juntas, con refuerzo en las juntas, o concretos reforzados de manera continua.

Los ensayos realizados mediante esta metodología, son por su naturaleza denominados no destructivos NDT (Non Destructive Test). La información de dichos ensayos es utilizada para la evaluación estructural de los pavimentos. Además, los resultados de dichas deflexiones pueden emplearse a su vez en las siguientes características de los pavimentos.

- a) Módulo de elasticidad de cada capa
- b) Rigidez combinada de los sistemas de pavimentos
- c) Eficiencia en la transferencia de carga en las juntas de pavimentos de concreto hidráulico
- d) Módulos de reacción de la subrasante
- e) Espesor efectivo, número estructural o valor de soporte del suelo
- f) Capacidad de carga o capacidad de soporte del pavimento.
- g) Detector de huecos bajo la losa.

Dichos parámetros pueden utilizarse en el análisis y diseño de la rehabilitación y reconstrucción de pavimentos rígidos y flexibles; valoración de la capacidad estructural, incluyendo la eficiencia de las juntas en pavimentos de concreto hidráulico; detección de

oquedades en pavimentos de concreto hidráulico y/o para fines de inventario estructural de la red.

Anteriormente los equipos más comunes para determinar la capacidad estructural de los pavimentos eran:

- a) Equipo discontinuo de medición. Opera con el principio de brazo de palanca simple (p ej., viga Benkelman.)
- b) Equipo estático semi-continuo, actúa con el principio de doble brazo de palanca (p ej., deflectógrafo Lacroix)
- c) Equipo dinámico de aplicación de carga. Utiliza un generador de fuerza dinámica, el cual puede ser una masa giratoria o un mecanismo actuador servo hidráulicamente controlado (p ej., Dynaflect, Road Rater).

Recientemente, los equipos utilizados son de tipo:

- a) Equipo de impacto (Figura 7). Crea un impulso de carga sobre el pavimento, dejando caer una masa controlada a partir de alturas variables sobre un sistema de resortes o caucho. Conocido generalmente como Falling Weight Deflectometer, FWD (p ej., Dynatest, Kuab, Jils)

3.2.3. SONDEOS DE EXPLORACIÓN.

Es muy importante mencionar que la realización de los sondeos es un elemento obligado en el desarrollo de los estudios de evaluación de pavimentos. No se puede inferir ni concluir nada si no se realizan sondeos de exploración

En nuestro caso particular, se determinó que para garantizar una buena calidad en la información los sondeos se realizarían a una distancia de 10 Km entre cada uno; esta distancia también fue estipulada dentro de los términos de referencia del contrato, en tramos carreteros menores a esta distancia, el sondeo se realizaría a la mitad. En carreteras de un solo cuerpo solo se revisará en una dirección, en una carretera de más de

dos carriles por sentido de circulación se debería auscultar en ambos sentidos, al igual que en una carretera con dos cuerpos, la localización del sondeo se realizaría a 30 cm. aproximadamente de la línea blanca, sobre el carril de baja velocidad.



Figura 7.- Deflectómetro de impacto Dynatest.

La profundidad de cada sondeo debería ser de 100 cm o en su defecto hasta encontrar un estrato resistente (roca) o nivel freático. El diámetro del sondeo fue de 10 pulgadas. El material extraído del sondeo se separaría y clasificaría registrándolo en una bitácora de campo, directamente se medirían las distintas capas que conforman la estructura del pavimento, se determinaría de forma visual el tipo de material, (Gravas, arenas, limos, arcillas) el porcentaje contenido encada capa, el tamaño máximo de agregado y la condición de humedad.

La posición de los sondeos se referenció al origen del tramo carretero mediante un dispositivo GPS. Los trabajos se ejecutaron siguiendo el procedimiento que a continuación se enlista:

- Registro en la bitácora de la siguiente información para cada punto de muestreo: coordenada geográfica, tramo carretero, sentido de circulación, carril, cadenamiento, tipo de pavimento, fecha y hora. Anexo 1.
- Identificación de las capas constitutivas del pavimento y registro en la bitácora de la medición de los espesores correspondientes, junto con una clasificación aproximada del material encontrado.
- Rellenar la perforación utilizando material que deberá cumplir con calidad de base hidráulica de acuerdo a la normativa N-CMT-4-02-002/11, hasta el nivel de la capa asfáltica más profunda, compactándolo con un pisón portátil. Para la reposición de las capas asfálticas se utilizará una mezcla asfáltica preparada en frío y compactada con pisón de mano, cuyos materiales deberán cumplir con la normativa N-CMT-4-05-003/08.

Para su realización se utilizó equipo de alto rendimiento como un Bobat Modelo S185, en algunos casos y en concretos rígidos se utilizó también un extractor de núcleos para poder cortar la losa de concreto, además se necesitó de equipo de demolición como martillo demoledor y herramienta menor. Figuras 8 y 9.



Figura 8. Equipo de alto rendimiento en sondeos



Figura 9. Equipo de alto rendimiento en sondeos

4.- PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.

Una vez que se comenzó a generar la información de campo, el proceso de análisis igualmente se inició, este proceso es el más importante dentro del desarrollo del proyecto ya que es donde se comienzan a crear las bases de datos con los insumos necesarios para el cálculo de la vida remanente de los pavimentos.

En primer lugar se solicitaron los datos viales para el cálculo del TDPA, y ESAL'S con un pronóstico para los próximos 5, 10 y 20 años, con la información del GPR se inició la determinación de los horizontes para cada carretera. Los sondeos fueron la actividad crítica pues la información obtenida era procesada diariamente para ser enviada al centro de información creado para este fin, estos datos ayudaron a dar la interpretación en los valores dados por el GPR. Con esta información se comenzó a determinar las zonas homogéneas para el análisis de las carreteras. De manera simultánea se comenzó a procesar la información proveniente del Deflectómetro de Impacto, las deflexiones fueron registradas igualmente en bases de datos que se relacionarían con los datos antes descritos.

Para el cálculo de los módulos de elasticidad se utilizó un programa de computo (ELMOD), este programa se basa en la teoría de la distribución de esfuerzos por medio de ondas electromagnéticas, que es el principio del funcionamiento del GPR. Para finalmente obtener el pronóstico de vida remanente y una capa propuesta como alternativa de refuerzo para la conservación.

4.1 DETERMINACIÓN DE ZONAS HOMOGENEAS

Para la determinación de las zonas homogéneas se busca la similitud entre las diferentes mediciones que arroja el Georradar, generalmente no varían mucho sin embargo en muchas ocasiones para la construcción de una carretera se realiza en diferentes tramos, los materiales a veces no son los mismos pues los bancos van cambiando según avanza la obra. Las zonas homogéneas nos ayudan a segmentar la carretera para la presentación de resultados, puede ser una sola o variar a más de dos según sea la longitud del camino.

Algunos de los criterios para la determinación de segmentos homogéneos son:

- Tipo de pavimento (Flexible, Rígido).
- Espesores de las distintas capas obtenidas con el GPR y conformadas con los sondeos de exploración.
- Transito Diario Promedio Anual (TDPA).
- El clima, la geología. Etc.

4.2 OBTENCIÓN DE DEFLEXIONES.

A continuación se presenta el proceso seguido para la evaluación estructural del pavimento, a partir de procedimientos no destructivos mediante equipo de pruebas HWD (Heavy Weight Deflectometer):

La utilización del deflectómetro de impacto (HWD) permite la simulación del efecto producido al pavimento por el tránsito vehicular, mediante la acción de caída libre de un peso controlado sobre una placa apoyada en la superficie de rodamiento, para transmitir así una carga específica a la estructura del pavimento.

Los desplazamientos verticales, producidos por efecto del impacto y sus tiempos de ocurrencia, se registran por medio de 7 sensores, espaciados a 30, 45, 60, 90, 120 y 180 cm del sensor localizado bajo la carga.

Cabe mencionar que uno de los principales objetivos de las mediciones con el HWD es conocer la variación de los desplazamientos verticales a lo largo de una carretera o vialidad, en este caso a cada 50 m. Con esta información se evalúan los parámetros o indicadores que rigen el comportamiento esfuerzo-deformación de los materiales constitutivos del pavimento. Un indicador directo de la capacidad estructural de un pavimento es su respuesta (en forma de desplazamiento vertical) a la aplicación de una carga dinámica.

El equipo HWD almacena en una computadora los valores de los desplazamientos verticales registrados por cada uno de los sensores y, posteriormente, esta información se

procesa para estimar el valor de los módulos de elasticidad de las diferentes capas que forman el pavimento, mediante un programa de cómputo denominado ELMOD.

Otro parámetro útil para conocer el estado del pavimento es la calificación estructural. Dicha calificación estructural se calcula como el área bajo la curva de los desplazamientos registrados con cada uno de los sensores del equipo HWD. La calificación estructural varía de cinco para un pavimento en pésimo estado hasta una calificación de diez para un pavimento en excelentes condiciones.

La Tabla 1 muestra los intervalos del área comprendida bajo la curva de los desplazamientos y el eje de las abscisas, así como la calificación estructural correlacionada para el pavimento.

Descripción	Área (mm ²)	Calificación
Excelente	0 a 100	10
Muy bueno	100 a 200	9
Bueno	200 a 400	8
Regular	400 a 800	7
Malo	800 a 1,600	6
Pésimo	Mayor a 1,600	5

Tabla 1. Rango de valores para la calificación estructural.

La figura 10 muestra las gráficas de dos mediciones efectuadas con el equipo HWD. La curva en color rosa presenta un valor menor del área bajo la curva y el eje de las abscisas por lo cual la calificación estructural será más alta. La curva en color negro presenta un área mayor por lo cual su calificación estructural es menor.

4.3 OBTENCIÓN DE LOS MÓDULOS DE ELASTICIDAD.

Método de cálculo.

Con apoyo en la información de los desplazamientos verticales, la carga aplicada, los espesores, la naturaleza de las capas (granular o estabilizada) y, con la ayuda de un

programa de cómputo, se calcularon los módulos de elasticidad de los materiales que forman el pavimento del tramo estudiado.

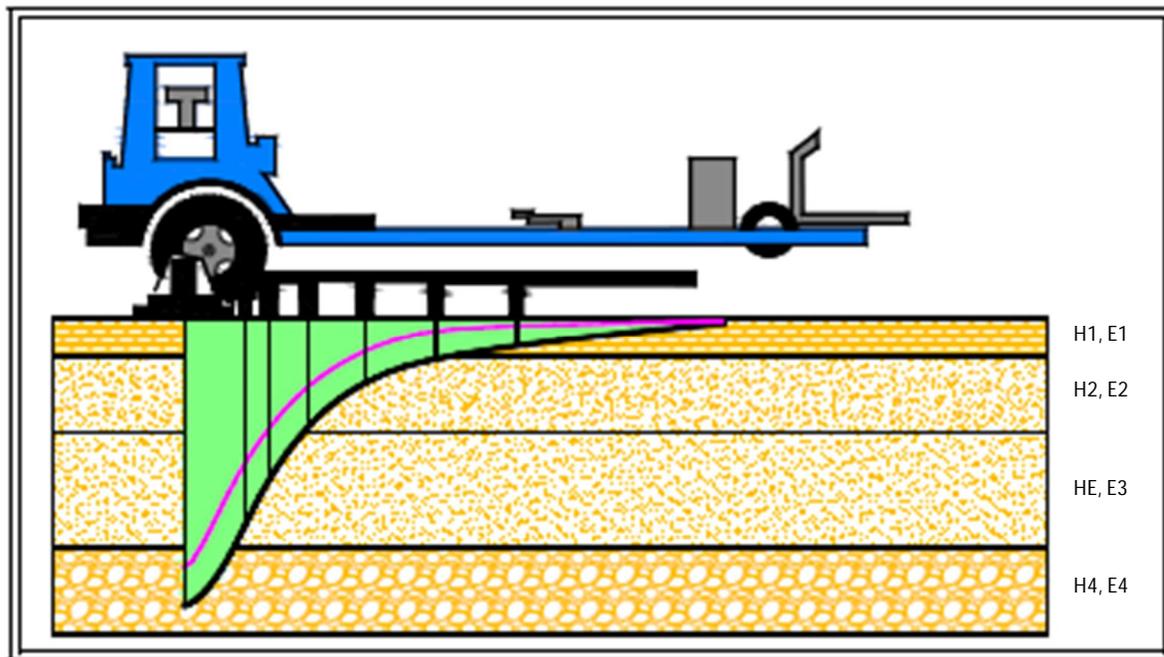


Figura 10 Medición de los esfuerzos con HWD

Básicamente, con el programa se calculan los desplazamientos ocasionados al aplicar una carga conocida sobre la estructura del pavimento. Inicialmente, en dicho programa se proponen módulos de elasticidad de las capas que constituyen el pavimento; con estos módulos, se calculan los desplazamientos verticales y éstos se comparan con los registrados por los sensores. Si de esta comparación resultan diferencias mayores a la tolerancia especificada, se ajustan los valores de los módulos de elasticidad y se repite el proceso en forma iterativa.

El retrocálculo termina cuando los valores de los desplazamientos verticales calculados son aproximadamente iguales a los valores medidos. Es conveniente aclarar que, debido a su complejidad, todo este proceso fue llevado a cabo por medio del programa ELMOD. Para fines de comparación, los módulos elásticos típicos se muestran en la Tabla 2.

CAPA	MÓDULO ELÁSTICO (Kg/cm²)
Carpeta asfáltica	20,000 a 50,000
Base Asfáltica	5,000 a 30,000
Base rigidizada con cemento Portland	5,000 a 80,000
Base hidráulica	3,000 a 5,000
Sub-base	2,000 a 4,000
Capas inferiores	300 a 1,500

Tabla 2. Valores comunes de módulos de elasticidad para las diferentes capas del pavimento

Mediante el programa Elmod, es posible obtener los módulos de elasticidad de las capas del pavimento, incluyendo la capa subrasante. Esta información es útil para evaluar un pavimento y proyectar su rehabilitación o reconstrucción aplicando los métodos mecanístico-emmpíricos, Mediante Elmod se puede determinar la vida remanente del pavimento, identificar la capa ó capas débiles y el tipo de capa de refuerzo necesario, en términos de concreto asfáltico, para cumplir con el periodo de análisis.

5.-Ejemplo de caso.

5.1 Carretera Nuevo Laredo – Ciudad Acuña.

Localización.- Esta carretera se encuentra al norte del país y es una de las principales de la zona pues conecta el paso fronterizo de Nuevo Laredo con la ciudad de Piedras Negras y Ciudad Acuña (Figura 11), cuenta con una longitud de 250 km y está configurada con una sección de 7.00 m de corona, un carril de circulación por sentido sin acotamientos, aunque ya se encuentran tramos en ampliación a cuatro carriles.

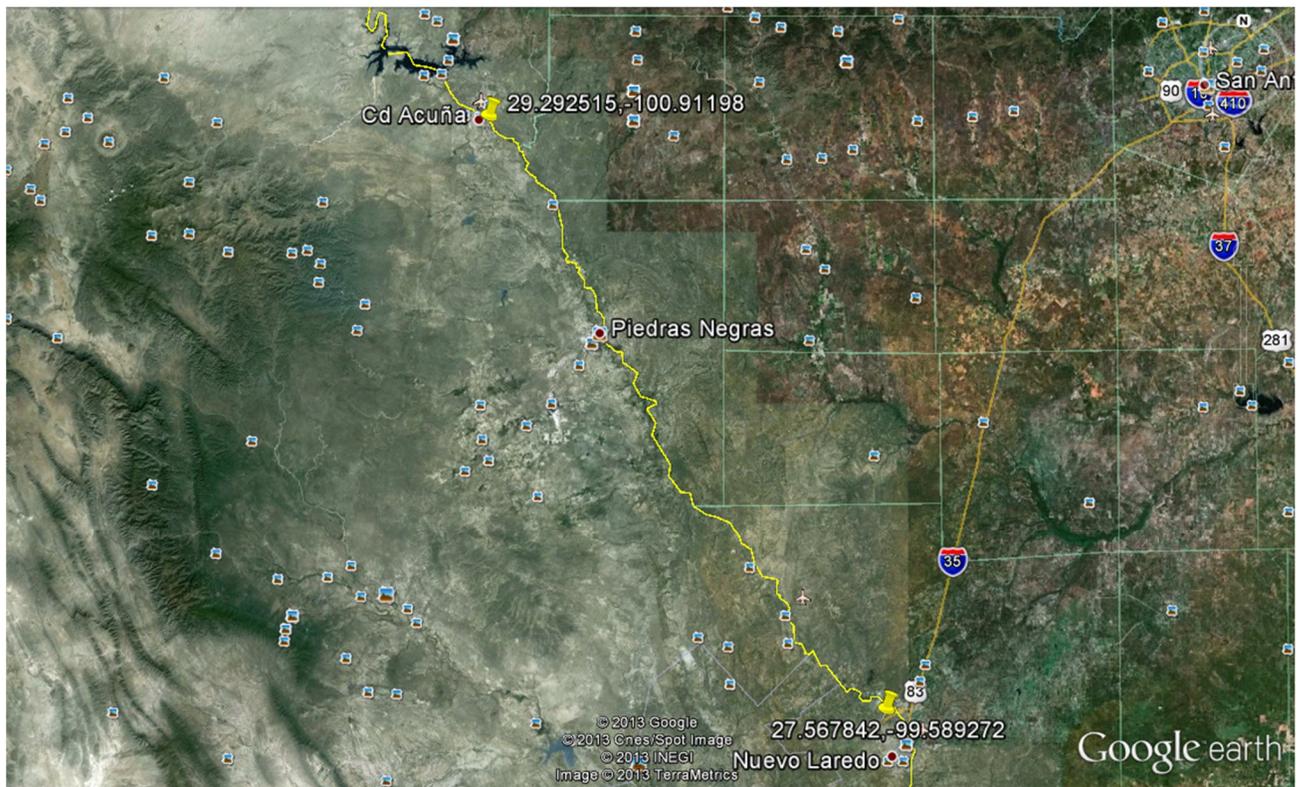


Fig.11 Localización geográfica de la carretera Nuevo Laredo - Cd Acuña

Como primer paso se comenzó con la utilización de los equipos de alto rendimiento, los trabajos realizados en cada uno de los equipos fueron los siguientes:

- HWD: Medición de los desplazamientos en campo y cálculo de los módulos de elasticidad de cada una de las capas, utilizando el programa ELMOD 6 (Fig12).
- GPR: Obtención de los espesores de las capas del pavimento. Los resultados obtenidos se presentan en los radagramas contenidos en el Anexo 2.

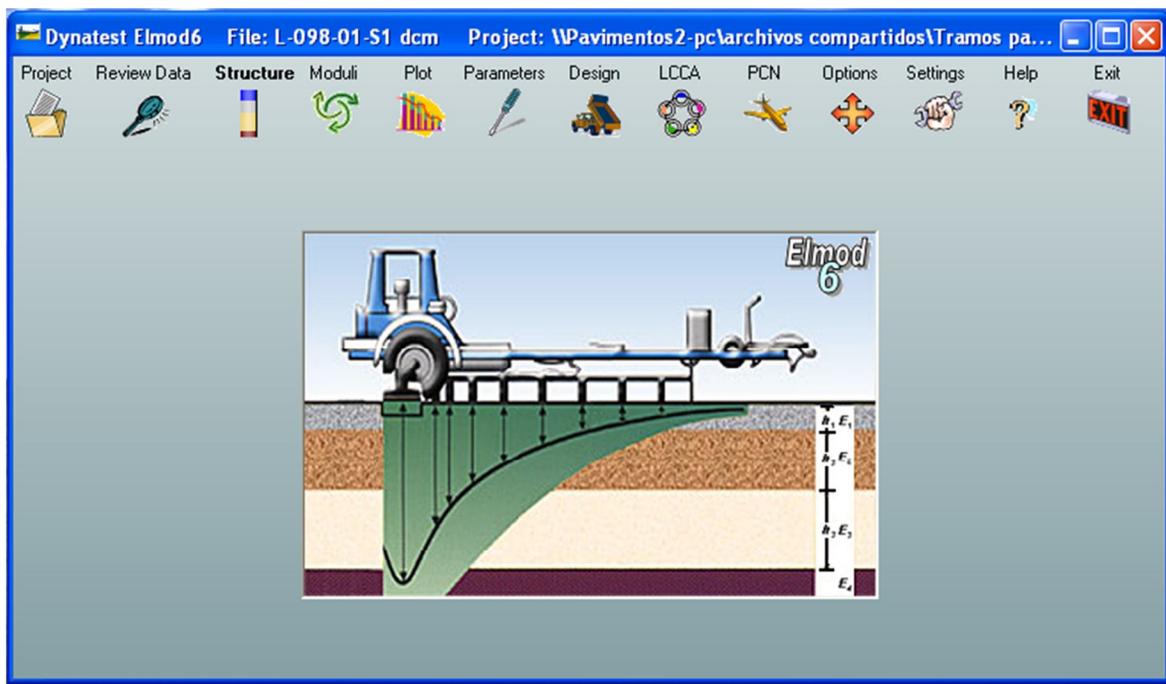


Figura 12. Pantalla de inicio del Programa Elmod6 utilizado en este proyecto.

Además del uso de estos equipos se realizaron sondeos directos para determinar espesores y tipo de materiales, se hicieron 26 sondeos a una distancia de 10 km entre cada uno de ellos y en un solo sentido Los datos registrados se presentan en el anexo 3.

La definición de las zonas homogéneas se hizo considerando la respuesta en deflexiones del pavimento y se muestran en la tabla No.3.

Zona Homogénea	Km inicial	Km final
1	18+280	39+080
2	39+580	162+920
3	163+420	261+860

Tabla No.3 Zonas homogéneas para el estudio.

Donde se veían cambios fuertes en la magnitud de deflexión se definía la frontera entre una zona y la siguiente (Fig. 13). Cabe mencionar que para esto se utiliza el valor de a deflexión máxima (primer sensor) y empleando el método del AASTHO de diferencias acumuladas (Analysis unit delineation by cumulative differences).

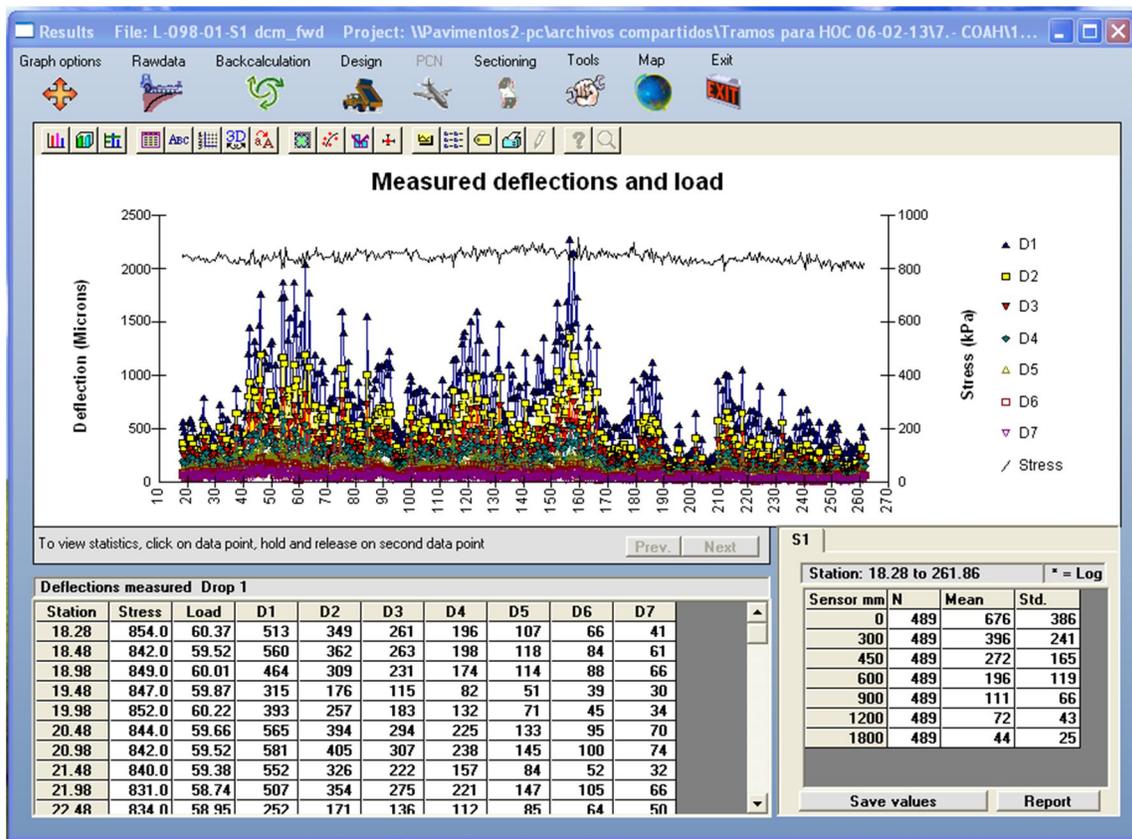


Figura 13. Grafico que ilustra la obtención de Zonas Homogéneas en base a deflexiones reportadas por el HWD

Las deflexiones se obtuvieron con el empleo de deflectómetro de impacto HWD, teniéndose los datos para dos golpes y el promedio de los valores obtenidos de ellos.

Los valores de los espesores promedio por zona para cada una de las primeras capas valores fueron determinados con el Georadar y se muestran en la tabla No.4.

ZH S1	Espesores Capas				
	Carpeta asfáltica (mm)	Base Granular (mm)	Subbase (mm)	Subrasante (mm)	Capas Inferiores (mm)
1	120	230	0	330	320
2	110	170	0	290	430
3	140	220	0	230	410

Tabla No.4 Espesores promedio en cada zona homogénea.

Retrocálculo de Módulos de Elasticidad.

Una vez que se define la estructura del pavimento para cada una de las zonas homogéneas se procede a la estimación de los módulos de elasticidad de las capas. En el programa Elmod se seleccionan las zonas homogéneas a analizar. La mayoría de los datos se llenan automáticamente, ya que el programa los toma de los datos generados por el deflectómetro al realizar la información y cargar dichos datos en el programa. Para estimar el comportamiento de los materiales dependientes de la temperatura, como el asfalto, se utilizó el criterio de la ecuación de Bell, para la cual se consideró una temperatura de referencia de 25 °C. En la figura 14

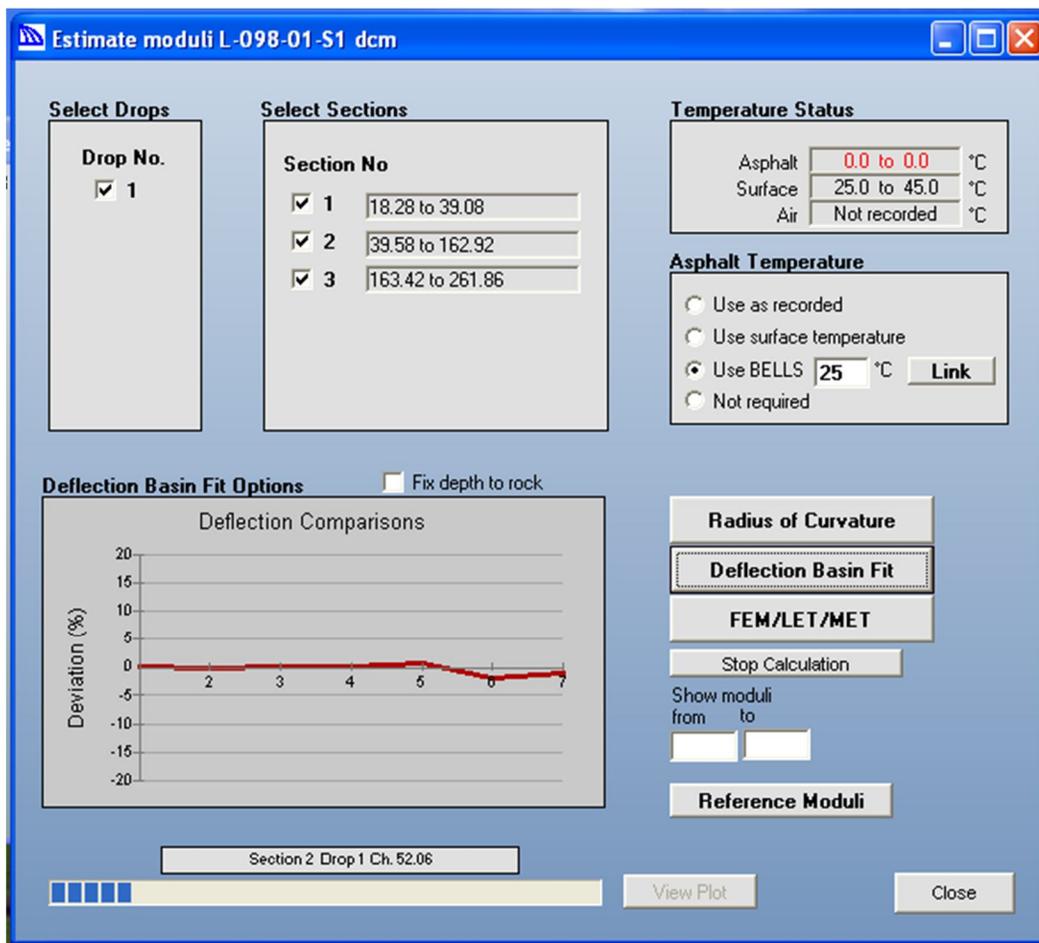


Figura 14 Pantalla para el cálculo de módulos de elasticidad.

Una vez que se termina la estimación de los módulos, es posible visualizar los resultados en forma gráfica y tabular, de esta manera se puede apreciar si la estimación obtenida es adecuada es decir que los módulos de cada capa se encuentren en el rango establecido

para cada material de no ser así es necesario modificar los datos de la estructura proponiendo otros módulos de referencia para obtener una mejor estimación (Fig.15).

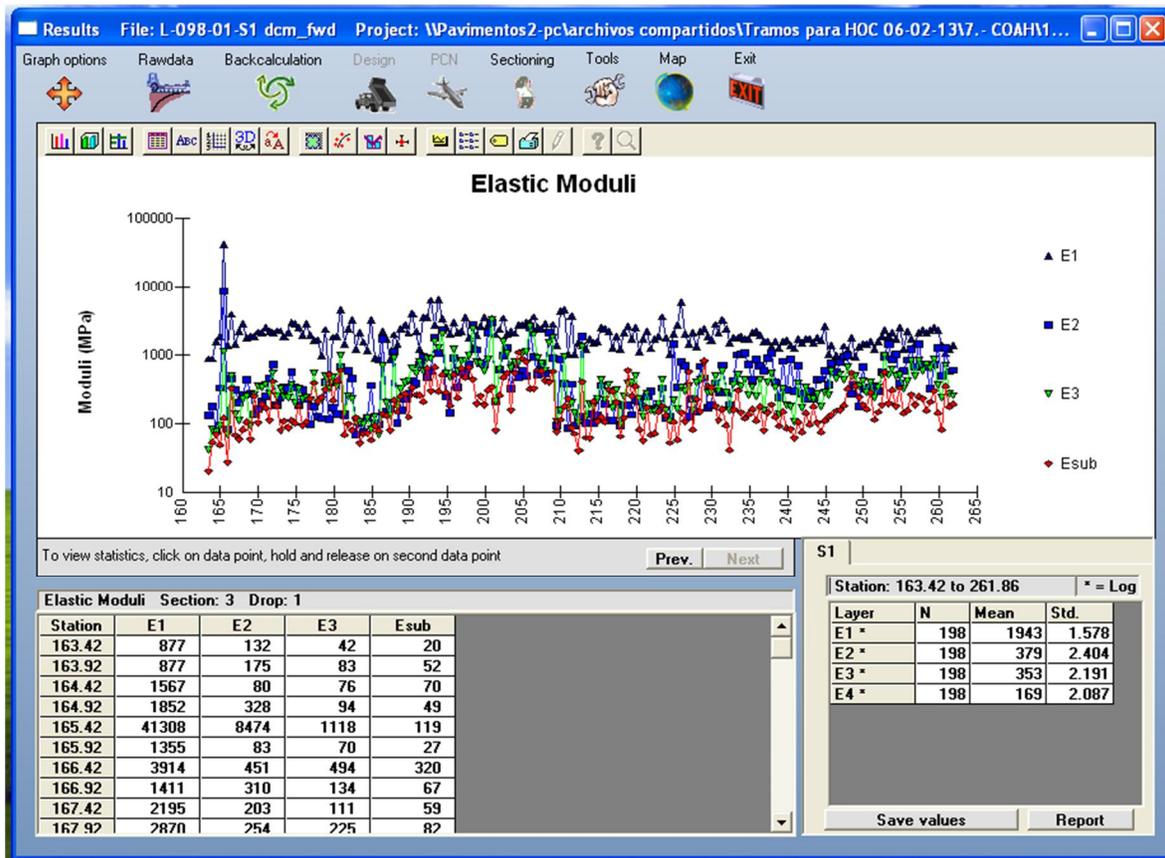


Figura 15 Gráfico del retrocálculo de los módulos de elasticidad.

Vida remanente del pavimento

Una vez admitida la estimación se procede al cálculo de la vida remanente, la cual considera los módulos estimados en el paso anterior, la definición de cargas dada en los parámetros y los ESALS considerados.

Al abrir la pantalla se debe seleccionar las zonas homogéneas a analizar, y la capa cuyo refuerzo se desea estimar, en la casilla de Traffic se introduce el valor de ESALS para la zona homogénea correspondiente., en este caso las zonas homogéneas 1 y 2 tienen el mismo valor de ESALS que fue de 728,236.8884 (Fig.16) y la tercera tienen un valor de ESALS de 1, 519,284.41855.

Overlay design L-098-01-S1 dcm_fwd

Base design on

Existing Pavement
 Existing unbound layers
 Existing subgrade

Select parameter setup

Dual

Add new layers

Thickness	Material	Modulus
	AC	2500

Milled from layer 1
 mm

No	Section	Drop	Chosen	From	To	Method	Layers	Layer 1	Layer 2	Layer 3	Layer 4	Layer 5
1	1	1	OK	18.28	39.08	Basin	4	AC	Granular	Granular	Clay	
2	2	1	OK	39.58	162.92	Basin	4	AC	Granular	Granular	Clay	
3	3	1		163.42	261.86	Basin	4	AC	Granular	Granular	Clay	

Traffic

Total passages per year

Percentual distribution on types. Total = 100.0 %

Dual

Forecasting
AADT to ESAL
WIM to ESAL
Import traffic

Copy first structure

View Plot

Start Design

Figura 16 Cálculo de la vida remanente para las zonas homogéneas 1 y 2.

Finalmente los resultados que arroja el análisis en el programa se aprecia en la pantalla de salida. Figura 17.

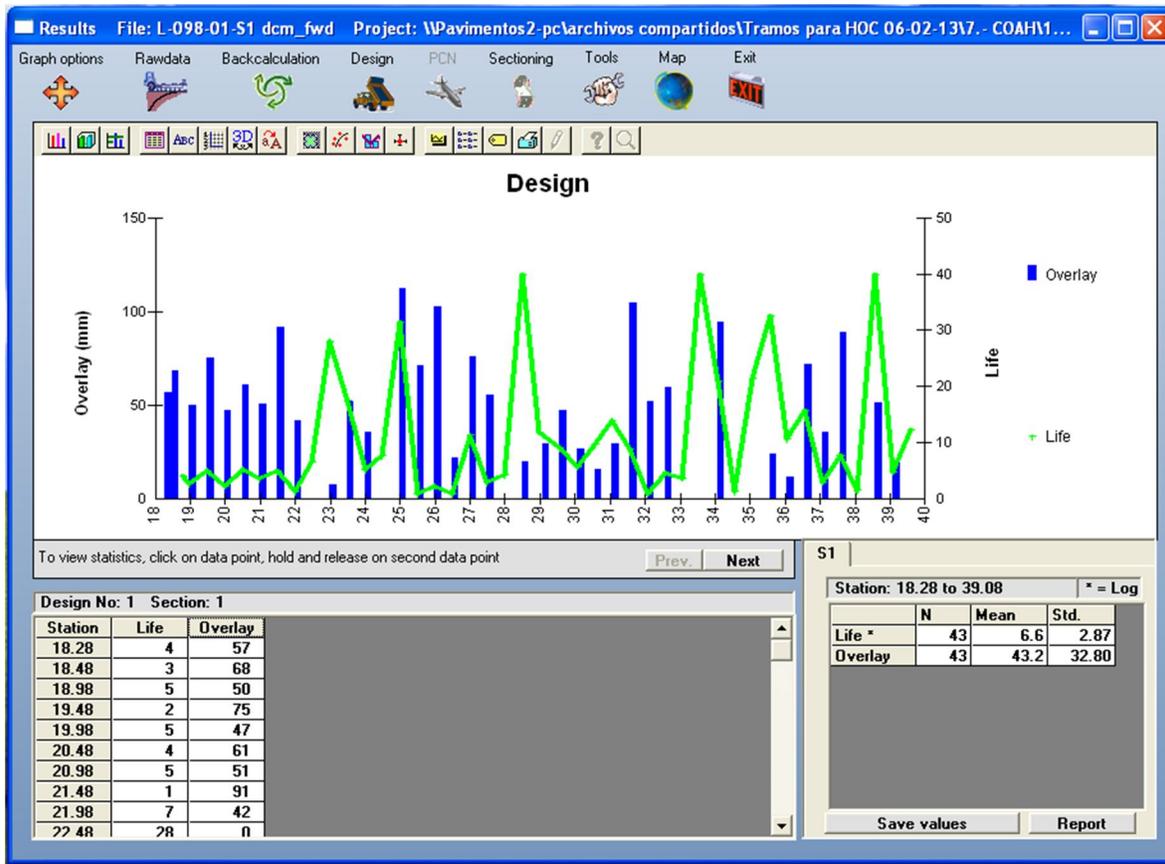


Figura 17. Pantalla que ilustra el gráfico de la vida esperada y repuesto propuesto.

Como se puede observar el programa arroja una expectativa de vida del pavimento así como un refuerzo propuesto para la capa de rodamiento, en color verde se grafica la vida en cada punto estudiado, y en azul el refuerzo propuesto. El mismo procedimiento es para cada zona homogénea.

Para la carretera de nuestro caso, los resultados que arroja el estudio se presentan en la tabla No. 5.

Zona Homogénea	Km inicial	Km final	ESAL's (Diseño)	Vida Esperada Promedio (años)	Refuerzo Promedio Propuesto (cm)
1	18+280	39+080	728,236.88	5.0	4.3
2	39+580	162+920	728,236.88	2.0	11.1
3	163+420	261+860	1,519,284.41	2.9	5.8

Tabla No.5 Resultados finales, vida esperada y refuerzo promedio propuesto

6.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.

- El pavimento es una estructura formada por una sucesión de capas, construidas con materiales de características conocidas y que responden a cargas de tráfico de diversos tipos, existen dos tipos de pavimentos, los flexibles ó asfálticos y los rígidos cuya carpeta es de concreto hidráulico.
- El Ground Penetrating Radar es un equipo de alto rendimiento utilizado en la actualidad para obtener espesores lo largo de una carretera, con este equipo se pueden optimizar los tiempos de análisis y obtención de datos, sin embargo este método necesita invariablemente la comprobación mediante sondeos de exploración, sin estas calas, **no se puede concluir** ni validar la información obtenida por el radar.
- En la carretera Nuevo Laredo – Ciudad Acuña se determinaron tres zonas homogéneas, el resultado que arroja el análisis indica que el primer tramo tiene una vida esperada de 5 años, la segunda tiene 2 años y la tercera se espera alcance los 2.9 años, la variación entre cada una de los resultados se debe a la diferencia entre los módulos de elasticidad que se obtuvieron en el estudio.
- En la medida en que el gobierno federal destine más recursos para la generación de información relacionada al mantenimiento de las carreteras, se podrán tener elementos más confiables, conoceremos con mayor detalle las características de las carreteras del país, podremos tener identificadas zonas de riesgo, problemas de construcción y llegar a una gran base de datos nacional, para poder realizar programas de mantenimiento y optimizar los recursos económicos destinados para este fin.
- Las carreteras son elementos fundamentales para el desarrollo económico de un país, dada la magnitud de productos y personas que movilizan. Al respecto, la red carretera nacional tiene una longitud de más de 366 mil kilómetros, a lo largo de los cuales se desplaza el 98% de los pasajeros y 74% de la carga terrestre. Este

movimiento debe hacerse de forma rápida, cómoda, económica y segura, por lo que es necesario disponer de una superficie de rodamiento que reúna las condiciones adecuadas para permitir el movimiento de los vehículos a las velocidades de operación de las carreteras, sin provocar problemas en sus recorridos.

RECOMENDACIONES

- Continuar con la creación y seguimiento de programas institucionales por parte de los organismos encargados de la conservación de la Red Federal de Carreteras para que este tipo de estudios se conviertan en elementos de calificación hacia dependencias y concesionarios encargados de los distintos tramos carreteros, para garantizar al usuario un tránsito seguro y confortable.
- Vigilar que la información se maneje con profesionalismo para garantizar la continuidad en la misma, no importando el criterio de las autoridades que están al cumplimiento de un periodo determinado de tiempo.
- Este tipo de estudios se deben hacer con mayor frecuencia y de preferencia en longitudes más cercanas, supervisadas por las residencias de cada uno de los estados del país, para que la dependencia encargada pueda tener un acceso más rápido e implementar las acciones necesarias en el momento indicado.
- Se deben fomentar y formar profesionistas perfilados al tema de la investigación de materiales y el desarrollo de nuevas tecnologías, aplicadas al tema de las Vías Terrestres, en la medida en que haya más profesionistas dedicados a las carreteras, el conocimiento se diversifica y se pueden compartir experiencias para mejorar técnicas de conservación y mantenimiento en la infraestructura carretera.

Bibliografía.

- Rico Rodriguez, Alfonso. "La ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres". Volumen 2, Limusa Noriega Editores, México.
- Olivera Bustamante, Fernando. "Estructuración de Vías Terrestre"s. CECSA, sexta reimpresión. México 2004.
- Crespo Villalaz, Carlos. "Vías de Comunicación". LIMUSA cuarta edición. México 2008.
- Álvarez Manila Aceves, Alfonso. "Geofísica Aplicada en los Proyectos Básicos de Ingeniería civil" IMT Publicación Técnica No.229. Querétaro, México 2003.
- Pérez Salazar Alfonso "Uso y Calibración de Deflectómetros de Impacto en la Evaluación Estructural de Pavimentos" IMT Publicación Técnica No.252. Querétaro, México 2004.

Páginas Web

- www.multiview.ca
- www.sct.gob.mx.
- www.imt.com.mx.
- www.earth.google.com
- www.presidencia.gob.mx
- www.coahuila.gob.mx

Presentaciones

- "Curso Internacional de Estudios Avanzados en Pavimentos". Zarate Aquino Manuel. Guayaquil Ecuador, 2011.
- "La Conservación de Carreteras En La Actualidad". Dirección General de Conservación de Carreteras. México, octubre 2013.

ANEXO 1

BITACORA DE CAMPO

Foto		Material		Espesor (cm)	Tamaño máximo del agregado	Color del material	Porcentaje de materiales				Humedad	Observaciones	Acotaciones
							Grava %	Arena %	Limo %	Arcilla %			
Referencia de km. Foto 1		Carpeta	Carpeta asfáltica									Indicar el espesor total de la capa e indicar si es una sola o existen varias capas (definir cada espesor)	
			Losa de Concreto										
Señalamiento de cierre de carril. Foto 2		Base	Hidráulica							Seco		Indicar el espesor total de la capa e indicar si es una sola o existen varias capas (definir cada espesor)	
			Estabilizada c/asfalto							Húmedo			
			Estabilizada c/cemento								Saturado		
Inicio de trabajos. Foto 3		Sub base	Hidráulica							Seco			
			Estabilizada c/asfalto							Húmedo			
			Estabilizada c/cemento							Saturado			
Profundidad de perforación. Foto 4		Sub rasante								Seco		<ul style="list-style-type: none"> - Grava (Mayor o igual que 5mm) - Arena (Menor o igual que 5mm) - Arcilla (sensación jabonosa, no se siente el grano, los residuos son difíciles de limpiar) - Limo (sensación harinosa como talco, se siente grano no muy fino, los residuos se limpian fácilmente) 	
										Húmedo			
										Saturado			
Materiales constituyentes de las capas. Foto 5		Cuerpo del terraplén								Seco			
										Húmedo			
										Saturado			
Término de los trabajos. Foto 6		Terreno natural								Seco			
										Húmedo			
										Saturado			

SCT



SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

DETERMINACIÓN DE ESPESORES DEL PAVIMENTO MEDIANTE SONDEOS SIMPLIFICADOS

PROYECTO: AUSCULTACIÓN Y TOMA DE DATOS

HOJA ___ DE ___

CARRETERA: _____ IdCarretera: _____

Sentido: _____ del km: _____

Fecha de ensaye: _____

Carril: _____ al km: _____ REGISTRÓ _____

Clima: _____

No. Sondeo:

Km: _____

Coordenadas Latitud: _____ Hora de inicio: _____

No de brigada: _____

Waypoint: _____

Coordenadas Longitud: _____ Hora de término: _____

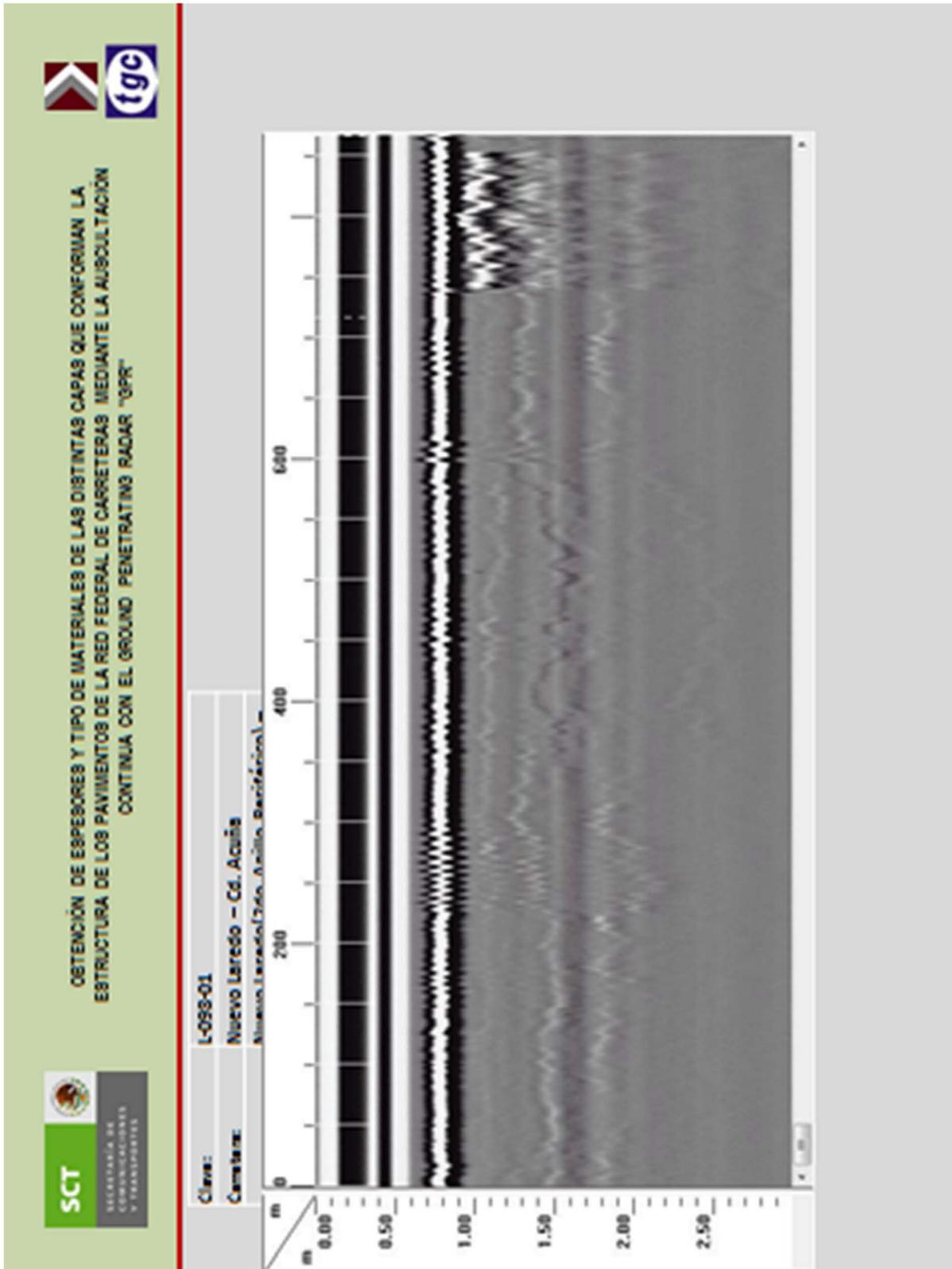
ANEXO 2

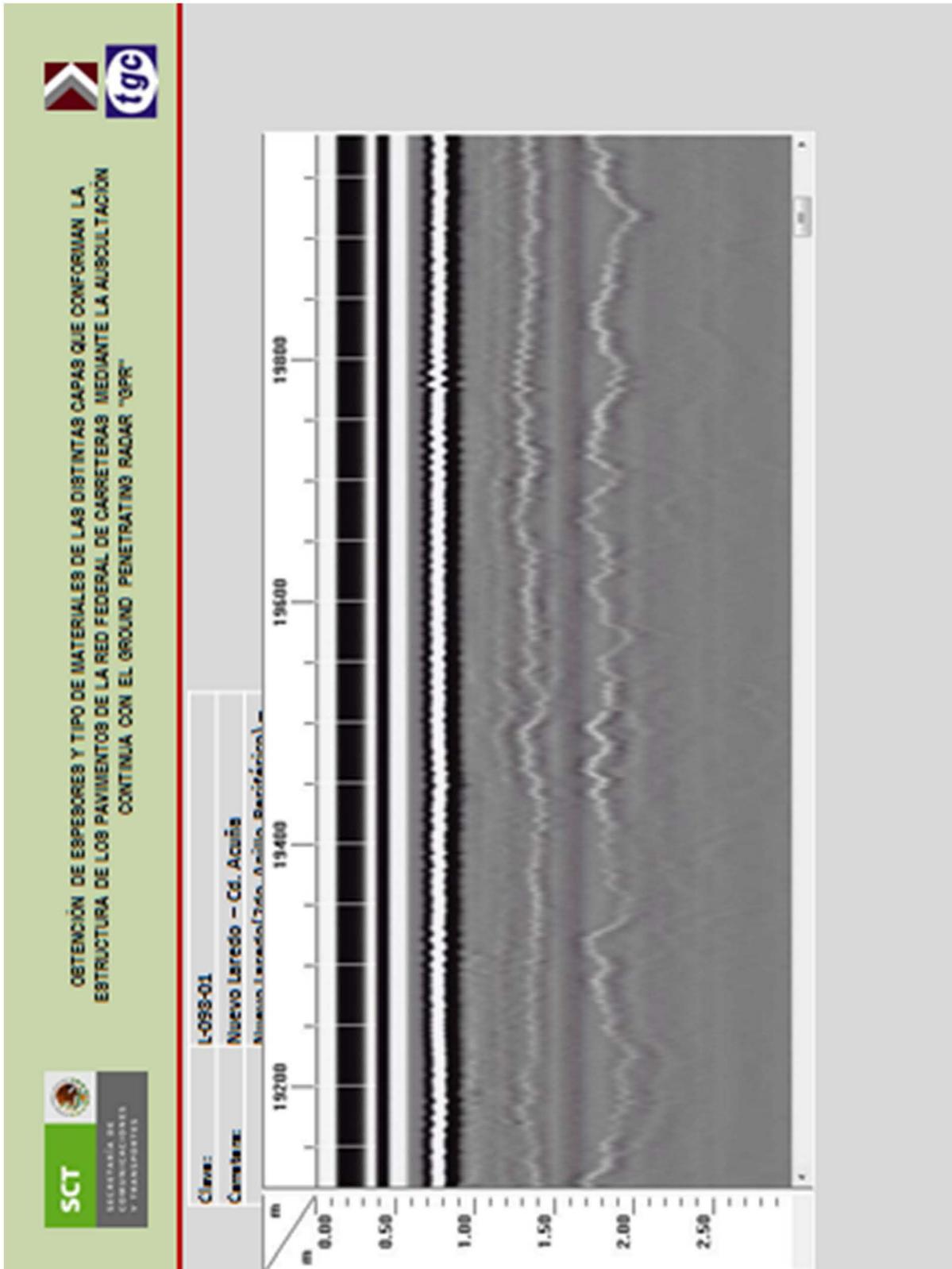
RADAGRAMAS CARRETERA
NVO. LAREDO – CD. ACUÑA

 <p>SCT SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES</p>		<p>OBTENCIÓN DE ESPESORES Y TIPO DE MATERIALES DE LAS DISTINTAS CAPAS QUE CONFORMAN LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS DE LA RED FEDERAL DE CARRETERAS MEDIANTE LA AUSCULTACIÓN CONTINUA CON EL GROUND PENETRATING RADAR "GPR"</p>	
Clave:	L-098-01		
Camelina:	Nuevo Laredo – Cd. Acuña		
Tramo en estudio:	Nuevo Laredo(2do Anillo Periférico) – Cd. Acuña (Av. Sur poniente)		
Sección:			

L-098-01

SENTIDO 1





ANEXO 3

BITACORAS DE CAMPO CARRETERA

NVO. LAREDO – CD. ACUÑA

OBTENCIÓN DE ESPESORES Y TIPO DE MATERIALES DE LAS DISTINTAS CAPAS QUE CONFORMAN LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS DE LA RED FEDERAL DE CARRETERAS MEDIANTE LA AUSCULTACIÓN CONTINUA CON EL GROUND PENETRATING RADAR																			
 SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES		Estado: <u>COAHUILA</u> Carretera: <u> NUEVO LAREDO-CD.ACUÑA</u> idCarretera: <u>L_098_01</u> Sentido: <u>1</u> del km <u>0+000</u> al km <u>253+500</u>					Integrantes de la brigada: 1 <u>JOSE LUIS MENDIETA</u> 7 <u>CARLOS AGUILAR MERA</u> 2 <u>MARCO ANTONIO PACHECO TREJO</u> 8 <u>EDGAR B AENA AVILA</u> 3 <u>ANDRES SISON MARTINEZ</u> 9 <u>LUIS ALEJANDRO DELGADO ARAIZA</u> 4 <u>EMANUEL DUARTE ORTIZ</u> 10 <u>AGUSTIN RUIZ JIMENEZ</u> 5 <u>RAYMUNDO HERNANDEZ GOMEZ</u> 11 <u>RAMON CORTES GARCIA</u> 6 <u>OSCAR REDONDO MARTINEZ</u> 12 <u>LUIS TAPIA</u>												
		No. de sondeo	Fecha de ejecución	Clima	Carril	Tipo de Pavimento	Hora de Inicio	Termino	km	Coordenadas		Foto	Capa	Espesor [cm]	Tamaño máximo de agregado	Color del material	Gravas y/o Arenas	Limos y/o Arcillas	Tipo de material (carpeta asfáltica, concreto, grava, arena, limo, arcilla, etc.)
1	13/10/12	SOLEADO	2	CARPETA ASFALTICA	15:17	15:34	8+000	27°32'02.3"	099°134'15.0"	L_098_01_8+000_S1_1	Carpeta	13	1 CM	GRIS	GRAVA	LIMO	CARPETA ASFALTICA 1 CAPA DE 13 CM MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_8+000_S1_2	Base	25	2 CM	GRIS	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_8+000_S1_3	Sub base								
										L_098_01_8+000_S1_4	Subrasante	38	4 CM	CAFÉ	ARENA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_8+000_S1_5	Coo. Terraplén	24	2 CM	CAFÉ	ARENA	ARCILLA	MEZCLA DE GRAVA ARENA LIMO Y ARCILLA	HUMEDO	
										L_098_01_8+000_S1_6	Terreno natural								
2	13/10/12	SOLEADO	2	CARPETA ASFALTICA	15:37	15:54	18+000	27°35'32.3"	099°38'15.5"	L_098_01_18+000_S1_1	Carpeta	16	1 CM	GRIS	GRAVA	LIMO	CARPETA ASFALTICA 2 CAPAS 8 CM CADA UNA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_18+000_S1_2	Base	16	3 CM	GRIS	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_18+000_S1_3	Sub base								
										L_098_01_18+000_S1_4	Subrasante	28	4 CM	CAFÉ	GRAVA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_18+000_S1_5	Coo. Terraplén	40	4 CM	CAFÉ	ARENA	ARCILLA	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y ARCILLA	HUMEDO	
										L_098_01_18+000_S1_6	Terreno natural								
3	13/10/12	SOLEADO	2	CARPETA ASFALTICA	15:58	16:18	28+000	27°38'26.3"	099°43'16.0"	L_098_01_28+000_S1_1	Carpeta	11	2 CM	GRIS	GRAVA	LIMO	CARPETA ASFALTICA 1 CAPA DE 11 CM MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_28+000_S1_2	Base	26	4 CM	GRIS	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_28+000_S1_3	Sub base								
										L_098_01_28+000_S1_4	Subrasante	38	4 CM	CAFÉ	GRAVA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_28+000_S1_5	Coo. Terraplén	29	1 CM	CAFÉ	ARENA	ARCILLA	MEZCLA DE GRAVA ARENA LIMO Y ARCILLA	HUMEDO	
										L_098_01_28+000_S1_6	Terreno natural								
4	13/10/12	SOLEADO	1	CARPETA ASFALTICA	16:20	16:38	38+000	27°41'59.8"	099°47'48.0"	L_098_01_38+000_S1_1	Carpeta	10	1 CM	GRIS	GRAVA	LIMO	CARPETA ASFALTICA 1 CAPA DE 10 CM MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_38+000_S1_2	Base	20	3 CM	GRIS	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_38+000_S1_3	Sub base								
										L_098_01_38+000_S1_4	Subrasante	30	2 CM	CAFÉ	ARENA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_38+000_S1_5	Coo. Terraplén	40	2 CM	CAFÉ	ARENA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_38+000_S1_6	Terreno natural								
5	13/10/12	SOLEADO	1	CARPETA ASFALTICA	16:46	17:16	48+000	27°45'33.8"	099°52'12.7"	L_098_01_48+000_S1_1	Carpeta	10	1 CM	GRIS	GRAVA	LIMO	CARPETA ASFALTICA 1 CAPA DE 10 CM MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_48+000_S1_2	Base	13	5 CM	CAFÉ	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_48+000_S1_3	Sub base								
										L_098_01_48+000_S1_4	Subrasante	37	7 CM	CAFÉ	GRAVA	ARCILLA	MEZCLA DE GRAVA ARENA LIMO Y ARCILLA	HUMEDO	
										L_098_01_48+000_S1_5	Coo. Terraplén								
										L_098_01_48+000_S1_6	Terreno natural	40	1 CM	CAFÉ	ARENA	ARCILLA	MEZCLA DE GRAVA ARENA LIMO Y ARCILLA	HUMEDO	
6	15/10/12	NUBLADO	1	CARPETA ASFALTICA	10:05	10:23	58+300	27°50'20.2"	099°55'13.9"	L_098_01_58+300_S1_1	Carpeta	6	1 CM	GRIS	GRAVA	LIMO	CARPETA ASFALTICA 1 CAPA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_58+300_S1_2	Base	20	2 CM	GRIS	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_58+300_S1_3	Sub base								
										L_098_01_58+300_S1_4	Subrasante	38	3 CM	CAFÉ	ARENA	ARCILLA	MEZCLA DE GRAVA ARENA LIMO Y ARCILLA	HUMEDO	
										L_098_01_58+300_S1_5	Coo. Terraplén								
										L_098_01_58+300_S1_6	Terreno natural	36	4 CM	CAFÉ		ARCILLA	MEZCLA DE ARCILLA Y LIMO	HUMEDO	
7	15/10/12	NUBLADO	1	CARPETA ASFALTICA	10:30	10:41	68+000	27°55'04.1"	099°57'50.8"	L_098_01_68+000_S1_1	Carpeta	7	1 CM	GRIS	GRAVA	LIMO	CARPETA ASFALTICA 1 CAPA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y ARCILLA	SECO	
										L_098_01_68+000_S1_2	Base	18	2 CM	CAFÉ	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_68+000_S1_3	Sub base								
										L_098_01_68+000_S1_4	Subrasante	30	3 CM	CAFÉ	GRAVA	LIMO	GRAVA MEZCLADA CON ARENA Y LIMO	HUMEDO	
										L_098_01_68+000_S1_5	Coo. Terraplén	45	3 CM	AMARILLO	GRAVA	ARCILLA	GRAVA MEZCLADA CON ARCILLA Y LIMO	HUMEDO	
										L_098_01_68+000_S1_6	Terreno natural								
8	15/10/12	NUBLADO	1	CARPETA ASFALTICA	10:40	11:05	78+000	27°58'40.1"	100°03'10.1"	L_098_01_78+000_S1_1	Carpeta	10	1 CM	GRIS	GRAVA	LIMO	CARPETA ASFALTICA RIEGO DE SELLO 1 CAPA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_78+000_S1_2	Base	20	2.5 CM	GRIS	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_78+000_S1_3	Sub base								
										L_098_01_78+000_S1_4	Subrasante	30	4 CM	CAFÉ	GRAVA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
										L_098_01_78+000_S1_5	Coo. Terraplén	40	2 CM	CAFÉ	GRAVA	ARCILLA	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	HUMEDO	
										L_098_01_78+000_S1_6	Terreno natural								

9	15/10/12	NUBLADO	1	CARPETA ASPHALTICA	11.08	11.33	88+000	28°03'27.8"	100°05'18.2"	L_098_01_188+000_S1.1	Carpeta	10	1.0M	GRS	GRAVA	LIMO	CARPETA ASFALTICA RIEGO DE SELLO 1 CAPA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO
										L_098_01_188+000_S1.2	Base	20	2.0M	GRS	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO
										L_098_01_188+000_S1.3	Subbase	17	3.5 CM	CAFE	GRAVA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO
										L_098_01_188+000_S1.4	Subsante	43	4 CM	MARRON	ARCILLA		MEZCLA DE ARCILLA Y LIMO	HUMEDO
										L_098_01_188+000_S1.5	Cpo. Terrapien	20	2.5 CM	GRS	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO
10	15/10/12	NUBLADO	1	CARPETA ASPHALTICA	11.38	98+000	28°04'37.6"	100°10'22.7"	L_098_01_188+000_S1.1	Subsante	50	4 CM	GRS	GRAVA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_188+000_S1.2	Base	20	2.0M	CAFE	GRAVA	ARCILLA	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_188+000_S1.3	Cpo. Terrapien	5	1.0M	GRS	GRAVA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_188+000_S1.4	Terreno natural	20	2.5 CM	GRS	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_188+000_S1.5	Subbase	14	2.5 CM	GRS	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_188+000_S1.6	Subbase	25	5 CM	CAFE	GRAVA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	HUMEDO	
									L_098_01_188+000_S1.7	Cpo. Terrapien	56	4 CM	AVARILLO	ARCILLA		MEZCLA DE ARCILLA CON LIMO	SECO	
									L_098_01_188+000_S1.8	Terreno natural	12	1.0M	GRS	GRAVA	LIMO	CARPETA ASFALTICA 2 CAPAS 10 CM 5 CM MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_188+000_S1.9	Base	20	3.0M	GRS	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_188+000_S1.10	Subsante	19	2.5 CM	CAFE	GRAVA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
12	15/10/12	NUBLADO	1	CARPETA ASPHALTICA	13.47	118+000	28°15'14.9"	100°18'03.0"	L_098_01_178+000_S1.1	Cpo. Terrapien	49	1.5 CM	CAFE	ARENA	ARCILLA	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y ARCILLA	SECO	
									L_098_01_178+000_S1.2	Terreno natural	10	1.0M	GRS	GRAVA	LIMO	CARPETA ASFALTICA 1 CAPA RIEGO DE SELLO MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_178+000_S1.3	Subbase	18	3.5 CM	GRS	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_178+000_S1.4	Subsante	24	2 CM	CAFE	ARENA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_178+000_S1.5	Cpo. Terrapien	48	4 CM	CAFE	GRAVA	ARCILLA	MEZCLA DE ARCILLA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_178+000_S1.6	Terreno natural	10	1.0M	GRS	GRAVA	LIMO	CARPETA ASFALTICA RIEGO DE SELLO 1 CAPA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_178+000_S1.7	Base	17	2 CM	GRS	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_178+000_S1.8	Subbase	35	3 CM	CAFE	ARENA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_178+000_S1.9	Cpo. Terrapien	38	4 CM	CAFE	ARENA	ARCILLA	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	HUMEDO	
									L_098_01_178+000_S1.10	Terreno natural	10	1.0M	GRS	GRAVA	LIMO	CARPETA ASFALTICA RIEGO DE SELLO 1 CAPA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
14	15/10/10	NUBLADO	1	CARPETA ASPHALTICA	14.37	138+000	28°23'12.2"	100°24'23.5"	L_098_01_148+000_S1.1	Cpo. Terrapien	36	2 CM	CAFE	ARENA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_148+000_S1.2	Terreno natural	18	2.5 CM	GRS	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_148+000_S1.3	Subbase	36	4 MM	CAFE	ARENA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_148+000_S1.4	Cpo. Terrapien	36	4 MM	CAFE	ARENA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	HUMEDO	
									L_098_01_148+000_S1.5	Terreno natural	15	1 CM	NEGRO	GRAVA	LIMO	CARPETA ASFALTICA 2 CAPAS 10 CM 5 CM MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_148+000_S1.6	Subbase	20	2 CM	CAFE	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_148+000_S1.7	Subbase	20	2 CM	CAFE	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_148+000_S1.8	Cpo. Terrapien	35	3.5 CM	CAFE	GRAVA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_148+000_S1.9	Terreno natural	40	2 CM	CAFE	GRAVA	ARCILLA	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	HUMEDO	
									L_098_01_148+000_S1.10	Terreno natural	40	2 CM	CAFE	GRAVA	ARCILLA	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	HUMEDO	
16	15/10/12	NUBLADO	1	CARPETA ASPHALTICA	15.21	158+000	28°32'28.9"	100°30'00.0"	L_098_01_158+000_S1.1	Subsante	25	3.5 CM	CAFE	GRAVA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_158+000_S1.2	Cpo. Terrapien	40	2 CM	CAFE	GRAVA	ARCILLA	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	HUMEDO	
									L_098_01_158+000_S1.3	Terreno natural	15	1 CM	NEGRO	GRAVA	LIMO	CARPETA ASFALTICA 2 CAPAS 10 CM 5 CM MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_158+000_S1.4	Subbase	20	2 CM	CAFE	GRAVA	LIMO	BASE HIDRAULICA MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_158+000_S1.5	Subbase	25	3.5 CM	CAFE	GRAVA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_158+000_S1.6	Cpo. Terrapien	35	3.5 CM	CAFE	GRAVA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_158+000_S1.7	Terreno natural	40	2 CM	CAFE	GRAVA	ARCILLA	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	HUMEDO	
									L_098_01_158+000_S1.8	Subsante	25	3.5 CM	CAFE	GRAVA	LIMO	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	SECO	
									L_098_01_158+000_S1.9	Cpo. Terrapien	40	2 CM	CAFE	GRAVA	ARCILLA	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	HUMEDO	
									L_098_01_158+000_S1.10	Terreno natural	40	2 CM	CAFE	GRAVA	ARCILLA	MEZCLA DE GRAVA ARENA Y LIMO	HUMEDO	

